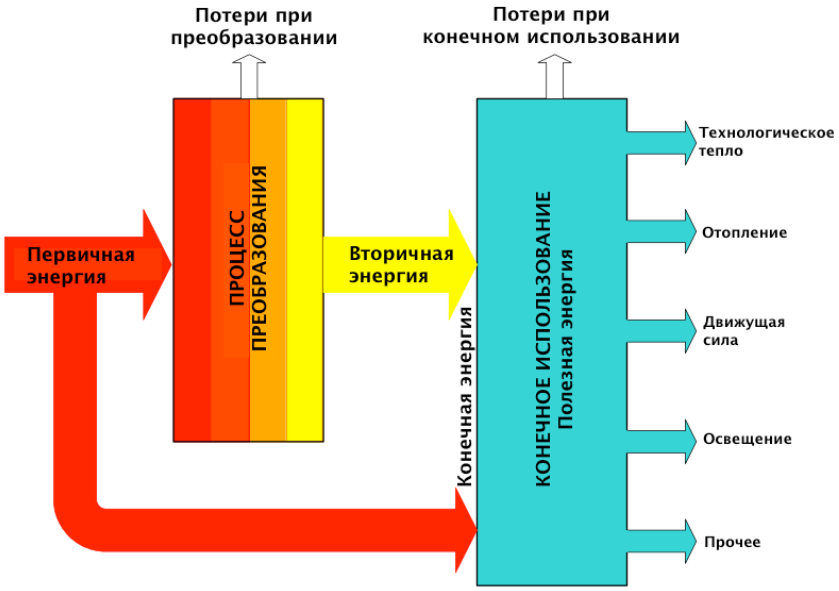
СПРАВОЧНЫЙ ДОКУМЕНТ ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ



European Commission

REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR ENERGY EFFICIENCY

Русская версия справочного документа подготовлена и опубликована при поддержке Фонда стратегических программ (SPF) Министерства иностранных дел Великобритании

Обсуждение справочного документа организовано при поддержке и участии

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы

Проект Программы сотрудничества ЕС и России "Гармонизация экологических стандартов II"

Представительство BP в России

РХТУ имени Д.И. Менделеева

• 2009 •

УДК 504.062

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности

ISBN 978-5-902194-37-8

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности (Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency) подготовлен в порядке информационного обмена по наилучшим доступным технологиям, а также достижениям и мониторингу в этой области, осуществляемого в соответствии со статьей 17(2) Директивы 2008/1/ЕС (Директива по комплексному предотвращению и контролю загрязнений, Директива КПКЗ). Подготовка документа выполнена Европейским бюро по предотвращению и контролю загрязнений и профинансирована Европейской Комиссией. Оригинальная версия документа (Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency) доступна на сайте Европейского бюро КПКЗ http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/.

Русская версия Справочного документа по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности подготовлена РОО «ЭКОЛАИН» в рамках проектов «Энергоэффективность в России: обеспечение доступа к европейским наилучшим доступным технологиям» и «Климатические стратегии для российских мегаполисов», осуществляемых при поддержке Фонда стратегических программ (SPF) Министерства иностранных дел Великобритании.

Обсуждение и распространение документа в России поддержали также Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, Проект Программы сотрудничества ЕС и России «Гармонизация экологических стандартов II», представительство компании BP в России, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.

Над русской версией Справочного документа работали

В.Н. ВИНИЧЕНКО (РОО «ЭКОЛАИН»), Е.Г. ГАШО (Объединение «ВНИПИэнергопром»), Т.В. ГУСЕВА (проект «Энергоэффективность в России: обеспечение доступа к европейским наилучшим доступным технологиям»), Е.А. ДМИТРИЕВ (РХТУ имени Д.И. Менделеева), Г.В. ПАНКИНА (Академия стандартизации, метрологии и сертификации).

УДК 504.062

Русская версия Справочного документа по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности доступна на сайтах:

http://www.russian-city-climate.ru/
http://www.14000.ru/
http://www.ippc-russia.org/

ISBN 978-5-902194-37-8



European Commission

REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR ENERGY EFFICIENCY

СПРАВОЧНЫЙ ДОКУМЕНТ ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Русская версия справочного документа подготовлена и опубликована при поддержке Фонда стратегических программ (SPF) Министерства иностранных дел Великобритании

Обсуждение справочного документа организовано при поддержке и участии

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы

Проект Программы сотрудничества ЕС и России "Гармонизация экологических стандартов II"

Представительство BP в России

РХТУ имени Д.И. Менделеева

2009

Настоящий документ входит в состав серии Справочных документов наряду с другими документами, перечисленными ниже:

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям	**Код**
Крупные топливосжигающие установки	LCP
Нефте- и газоперерабатывающие заводы	REF
Производство чугуна и стали	I&S
Обработка черных металлов	FMP
Предприятия цветной металлургии	NFM
Кузнечное дело и литейное производство	SF
Обработка поверхностей металлов и пластмасс	STM
Производство цемента, извести и оксида магния	CLM
Стекольное производство	GLS
Керамическое производство	CER
Крупнотоннажное производство органических соединений	LVOC
Тонкий органический синтез	OFC
Производство полимеров	POL
Производство хлора и щелочей	CAK
Крупнотоннажное производство аммиака, неорганических кислот и удобрений	LVIC-AAF
Крупнотоннажное производство неорганических твердых и прочих веществ	LVIC-S
Производство специальных неорганических соединений	SIC
Системы очистки сточных вод и отходящих газов и управления ими в химической промышленности	CWW
Предприятия по переработке отходов	WT
Сжигание отходов	WI
Управление хвостами и отвалами пустой породы в горнодобывающей деятельности	MTWR
Целлюлозно-бумажная промышленность	PP
Текстильная промышленность	TXT
Дубление шкур и кожи	TAN
Скотобойни и побочные продукты животного происхождения	SA
Производство продуктов питания, напитков и молока	FDM
Интенсивное птицеводство и свиноводство	IRPP
Обработка поверхностей с использованием органических растворителей	STS
Промышленные системы охлаждения	ICS
Выбросы и сбросы при хранении материалов	EFS
Энергоэффективность	***ENE***
Общие принципы мониторинга	MON
Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды	ECM

Электронные версии предварительных и окончательных вариантов документов свободно доступны и могут быть загружены с сайта: http://eippcb.jrc.es.

Краткое содержание

Настоящий Справочный документ по наилучшим доступным технологиям (методам) подготовлен в порядке информационного обмена по наилучшим доступным технологиям (НДТ), а также достижениям и мониторингу в этой области, осуществляемого в соответствии со статьей 17(2) Директивы 2008/1/ЕС (Директива по комплексному предотвращению и контролю загрязнений, Директива IPPC). Настоящее резюме кратко излагает содержание документа и основные выводы в отношении НДТ. Его следует читать вместе с предисловием, которое описывает цели подготовки документа, его предполагаемое использование, а также правовые условия его использования. Резюме может использоваться в качестве отдельного документа, но, будучи кратким изложением Справочного документа, оно не содержит всех существенных подробностей, излагаемых в последнем. Поэтому резюме не предназначено для использования в качестве инструмента принятия решений по вопросам НДТ вместо основного документа.

Энергоэффективность (ЭЭ)

Производство и потребление энергии рассматривается Европейским Союзом как приоритетная проблема в силу трех взаимосвязанных причин:

- изменение климата: сжигание ископаемого топлива для получения энергии является основным антропогенным источником парниковых газов;
- продолжающееся масштабное потребление невозобновляемых запасов ископаемого топлива и необходимость обеспечения устойчивости;
- безопасность энергоснабжения: ЕС импортирует более 50% потребляемых энергоносителей, и ожидается, что эта величина превысит 70% в ближайшие 20–30 лет.

Поэтому на высоком уровне были сделаны многочисленные политические заявления по этим проблемам, например:

«Мы намерены совместно играть лидирующую роль в энергетической политике и охране климата, внеся свой вклад в предотвращение угрозы глобального изменения климата». Берлинская декларация (Совет Министров, 50-я годовщина Римского договора, Берлин, 25 марта 2007 г.).

Повышение эффективности использования энергии является наиболее быстрым, результативным и экономически эффективным подходом к достижению этих целей. Помимо НДТ, существуют различные инструменты правового и иного характера для обеспечения энергоэффективности, и настоящий документ подготовлен с учетом этих инициатив.

Мандат на подготовку документа

Конкретный мандат на подготовку этого документа был сформулирован в коммюнике Комиссии, посвященном реализации Европейской программы по изменению климата (COM(2001)580 final), в виде специального запроса относительно энергоэффективности промышленных установок. Коммюнике содержало просьбу обеспечить реализацию положений Директивы IPPC, касающихся энергоэффективности, и подготовить специальный Справочный документ «горизонтального» характера, посвященный общим методам обеспечения энергоэффективности вне зависимости от конкретной отрасли.

Область применения настоящего документа

Директива IPPC требует эффективного использования энергии при эксплуатации любых установок, и энергоэффективность является одним из критериев, используемых при определении НДТ для любого производственного процесса. Государства – члены ЕС вправе принять решение не применять требования относительно энергоэффективности оборудования по сжиганию топлива и другого оборудования, вбрасывающего углекислый газ, к видам деятельности, перечисленным в Директиве по схемам торговли выбросами (Директива Совета 2003/87/ЕС). Однако в таких случаях требования относительно энергоэффективности остаются применимыми к любой другой деятельности на предприятии, связанной с упомянутыми видами деятельности.

Поэтому настоящий документ содержит выводы и рекомендации по методам обеспечения энергоэффективности, которые считаются совместимыми с НДТ в общем смысле, для всех установок, на которые распространяются требования Директивы IPPC. Документ также содержит ссылки на отраслевые Справочные документы по НДТ, содержащие подробное описание конкретных методов обеспечения энергоэффективности, которые могут применяться и в других отраслях, в частности:

- Справочный документ по крупным топливосжигающим установкам, содержащий, в частности, обсуждение методов обеспечения энергоэффективности, применимых к установкам мощностью менее 50 МВт;
- Справочный документ по промышленным системам охлаждения.

Настоящий документ не содержит:

- информации по процессам и видам деятельности, специфичным для отраслей, которым посвящены отдельные Справочные документы;
- НДТ, специфичным для конкретных отраслей.

Однако краткие сводки по НДТ обеспечения энергоэффективности для конкретных отраслей, подготовленные на основе соответствующих Справочных документов в информационных целях, доступны на сайте Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений [283, EIPPCB].

Настоящий документ был подготовлен в ответ на запрос об обеспечении выполнения положений об энергоэффективности, содержащихся в Директиве IPPC. Поскольку приоритетной темой данного документа является эффективное использование энергии, в нем не освещаются вопросы получения энергии из возобновляемых или устойчивых источников, рассматриваемые в других документах. Однако важно отметить, что использование энергии из возобновляемых источников и/или регенерация отходящего или избыточного тепла могут быть более предпочтительны с точки зрения устойчивости, чем сжигание ископаемого топлива, даже при меньшей энергоэффективности.

Структура и содержание настоящего документа

Энергоэффективность в контексте выдачи комплексных разрешений является «горизонтальной» проблемой, относящейся к любым отраслям и технологическим процессам. Поэтому, как отмечается в общем обзоре Справочных документов, структура настоящего документа не вполне соответствует обычной структуре таких документов. В частности, поскольку документ применим к широкому кругу отраслей и видов деятельности, в нем отсутствует раздел, посвященный нормативам потребления материалов и выбросов загрязняющих веществ. В документе даны ориентировочные значения возможной экономии энергии при использовании некоторых методов, которые могут рассматриваться как НДТ, а в приложениях приведено большое количество примеров. Эти сведения призваны помочь пользователям выбрать наилучшие методы обеспечения энергоэффективности для конкретных условий.

В главе 1 даны некоторые общие сведения об использовании энергии в промышленности и значении энергоэффективности в контексте IPPC. Далее в главе приводится введение в ряд ключевых вопросов, не требующее от читателя специальной подготовки. Круг рассматриваемых вопросов включает вопросы экономики и учета воздействия на различные природные среды, терминологию энергоэффективности (энергия, тепло, работа, мощность и т.д.), а также основные законы термодинамики. В частности, первый закон термодинамики утверждает, что энергия не может создаваться или уничтожаться, но может лишь переходить из одной формы в другую. Это позволяет организовывать учет энергии в рамках технологического процесса или установки, рассчитывать КПД процессов и т.п. Согласно второму закону термодинамики, никакой процесс преобразования энергии не допускает совершения полезной работы, равной 100% затраченной энергии. Неизбежно существуют потери в форме рассеяния низкопотенциального тепла или энергии, и, как следствие, КПД никакого процесса или машины не может достигать 100%. Далее в главе обсуждаются показатели энергоэффективности, вопросы определения энергоэффективности и границ систем или агрегатов, для которых она оценивается, а также связанные с этим проблемы.

Глава также демонстрирует важность оптимизации энергоэффективности на уровне систем или установок в целом, а не на уровне отдельных компонентов.

Глава 2 посвящена методам обеспечения эффективности на уровне установки в целом. Сначала в главе обсуждаются системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ), а затем – методы, которые могут использоваться для поддержания функционирования СМЭЭ. К этим методам относятся: комплексный подход к планированию деятельности и инвестиций с целью постоянного снижения воздействия установки на окружающую среду, анализ установки и ее систем как единого целого, использование энергоэффективных проектных и конструкционных решений наряду с выбором энергоэффективных процессов и технологий при строительстве новых и модернизации существующих установок, повышение ЭЭ за счет увеличения степени интеграции процессов, а также периодический анализ и модификация СМЭЭ. Среди других методов, обеспечивающих функционирование СМЭЭ, можно назвать поддержание надлежащей квалификации персонала; информирование по вопросам ЭЭ; эффективный контроль производственных процессов и поддержание их в надлежащем состоянии; мониторинг и измерения энергопотребления; энергоаудит; ряд аналитических методов, включая пинч-анализ, анализ эксергии и энтальпии, а также термоэкономику; мониторинг и сравнительный анализ уровней энергоэффективности для установок и производственных процессов.

В главе 3 рассматриваются методы обеспечения энергоэффективности для энергопотребляющих систем, процессов и оборудования, включая: сжигание топлива, паровые системы, регенерацию тепла, когенерацию, электроснабжение, подсистемы с электроприводом, насосные системы, отопление, кондиционирование воздуха и вентиляцию, освещение, а также сушку и сепарацию. Если сжигание топлива является существенной частью производственного процесса, подпадающего под действие Директивы IPPC (например, плавки металлов в печах), методы обеспечения энергоэффективности обсуждаются в соответствующем отраслевом Справочном документе.

Наилучшие доступные методы (технологии)

Глава по НДТ (глава 4) содержит описание методов, рассматриваемых как НДТ на общеевропейском уровне, основанное на сведениях, приводимых в главах 2 и 3. Нижеследующий текст кратко излагает содержание этой главы; официальным руководством, на котором должно основываться принятие решений по НДТ, является полный текст главы.

Никакие конкретные нормативы экономии энергии или энергоэффективности не были рассчитаны и/или согласованы при подготовке настоящего документа в силу его «горизонтального» характера. НДТ обеспечения энергоэффективности в рамках конкретных технологических процессов и связанные с ними уровни энергопотребления приводятся в соответствующих отраслевых («вертикальных») Справочных документах. Таким образом, НДТ для конкретной установки определяется на основе сочетания рекомендаций соответствующего отраслевого Справочного документа, НДТ для вспомогательных видов деятельности и элементов производственного процесса, которые могут быть описаны в других отраслевых Справочных документах (например, НДТ для установок по сжиганию топлива и паровых систем, описанные в Справочном документе для крупных установок по сжиганию топлива), а также универсальных НДТ, описанных в настоящем документе.

Целью Директивы IPPC является осуществление комплексного контроля и предотвращения загрязнений, позволяющего обеспечить более высокий уровень охраны окружающей среды в целом, включая эффективное использование энергии и рациональное использование природных ресурсов. Директива IPPC предписывает внедрение для перечисленных в ней видов деятельности разрешительной системы, требующей как от операторов, так и от регулирующих органов комплексного, целостного рассмотрения потенциала конкретной установки в отношении потребления ресурсов и загрязнения окружающей среды. Основной целью такого комплексного подхода должно быть улучшение проектных и конструкционных решений, а также менеджмента и контроля производственных процессов, направленное на обеспечение высокого уровня охраны окружающей среды в целом. Центральным элементом такого подхода является общий принцип, установленный статьей 3, согласно которому операторы должны принимать все уместные меры по предотвращению загрязнения, включая **«наилучшие доступные технологии (методы)»**,

позволяющие им повысить экологическую результативность деятельности, включая ее энергоэффективность.

Приложение IV к Директиве IPPC содержит перечень *«соображений, которые должны приниматься во внимание, вообще или в конкретных случаях, при определении наилучших доступных технологий (методов) с учетом возможных затрат и выгод, а также принципов предосторожности и предотвращения»*. Эти соображения включают, среди прочего, информацию, публикуемую Комиссией в соответствии со Статьей 17(2) (Справочные документы по НДТ).

Уполномоченные органы, ответственные за выдачу разрешений, должны принимать во внимание общие принципы, изложенные в Статье 3, при определении условий разрешения. Эти условия должны включать предельные величины выбросов и сбросов, замененные или дополненные, там, где это уместно, эквивалентными параметрами или техническими мерами. Согласно Статье 9(4) Директивы:

[без ущерба для положений Статьи 10 о наилучших доступных технологиях (методах), стандартах качества окружающей среды и соответствии этим стандартам], предельные величины выбросов и сбросов, эквивалентные параметры и технические меры должны основываться на наилучших доступных технологиях (методах), без предписания использовать какие-либо методы или конкретные технологии, но с учетом технических характеристик рассматриваемой установки, ее географического положения и местных условий окружающей среды. Во всех случаях условия разрешения должны предусматривать меры, направленные на сведение к минимуму [количества] загрязняющих веществ, распространяющихся на большие расстояния, или трансграничного загрязнения, а также на обеспечение высокого уровня охраны окружающей среды в целом.

Согласно Статье 11 Директивы, государства – члены ЕС должны создать условия для того, чтобы уполномоченные органы следили за достижениями в области наилучших доступных технологий (методов) или получали информацию о них.

Информация, содержащаяся в настоящем документе, предназначена для использования в качестве одного из источников при определении НДТ обеспечения энергоэффективности в конкретных случаях. При определении НДТ и установлении условий разрешения, основанных на НДТ, всегда необходимо принимать во внимание общую цель обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, включая энергоэффективность.

В главе, посвященной НДТ (глава 4), представлены методы, которые считаются совместимыми с НДТ в общем смысле. Целью главы является предоставление общей информации о методах обеспечения энергоэффективности, которая может использоваться в качестве реалистичного ориентира при определении условий разрешения, основанных на НДТ, а также при выработке общеобязательных правил в соответствии со Статьей 9(8). Следует, однако, отметить, что документ не предлагает конкретных нормативов энергоэффективности для использования в разрешениях. Предполагается, что новые установки могут быть спроектированы таким образом, что их результативность будет соответствовать представленным в настоящем документе уровням НДТ или даже превышать их. Предполагается также, что существующие установки могут повышать свою результативность, достигая общих уровней НДТ или превышая их, при условии технической применимости методов и экономической целесообразности их использования в каждом конкретном случае. В случае существующих установок необходимо также принимать во внимание техническую и экономическую осуществимость их модернизации.

Методы, представленные в главе по НДТ, не обязательно применимы для любых установок. С другой стороны, необходимость обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, включая минимизацию загрязнений, распространяющихся на большие расстояния, и трансграничного загрязнения, подразумевает, что условия разрешений не могут формулироваться исключительно на основе местных соображений. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы информация, представленная в настоящем документе, была в полной мере принята во внимание органами, ответственными за выдачу разрешений.

Значимость энергоэффективности важно иметь в виду. Вместе с тем, *«даже единственная цель обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом часто требует компромисса*

между различными видами воздействия на окружающую среду, причем конкретный характер такого компромисса часто зависит от местных условий». Как следствие:

- может оказаться невозможным одновременно обеспечить максимальную энергоэффективность всех видов деятельности и/или подсистем в пределах установки;
- может оказаться невозможным обеспечить максимальную общую энергоэффективность, одновременно сводя к минимуму потребление других ресурсов, а также выбросы и сбросы (например, снижение выбросов в атмосферу может оказаться невозможным без потребления дополнительной энергии);
- может понадобиться снизить энергоэффективность одной или нескольких систем для обеспечения максимальной общей эффективности установки в целом;
- необходимо поддерживать баланс между стремлением к максимальной энергоэффективности и другими факторами, например, качеством продукции, стабильностью производственного процесса и т.п.;
- использование энергии из возобновляемых источников и/или регенерация отходящего или избыточного тепла могут быть более предпочтительны с точки зрения устойчивости, чем сжигание ископаемого топлива, даже при меньшей энергоэффективности.

Поэтому методы обеспечения энергоэффективности предлагаются в качестве средства «оптимизации энергоэффективности».

«Горизонтальный» подход к вопросам энергоэффективности во всех отраслях, охватываемых Директивой IPPC, основан на том предположении, что энергия используется на любых установках, и одни и те же типы систем и оборудования могут применяться в различных отраслях. Поэтому могут быть выявлены общие подходы к обеспечению энергоэффективности, не зависящие от конкретного вида деятельности. Исходя из этого, могут быть определены НДТ общего характера, охватывающие наиболее эффективные меры по достижению высокого уровня энергоэффективности в целом. Поскольку настоящий документ носит «горизонтальный» характер, НДТ в его рамках должны определяться в более широком смысле, чем в отраслевых Справочных документах, например, как учет взаимодействия процессов, производственных единиц и систем в рамках предприятия.

НДТ обеспечения энергоэффективности и связанные с ними уровни потребления энергии для конкретных процессов приводятся в соответствующих отраслевых Справочных документах. После завершения работы над первой группой Справочных документов была подготовлена общая сводка соответствующей информации [283, EIPPCB].

Ни глава по НДТ (глава 4), ни главы 2 и 3 не приводят исчерпывающего списка методов обеспечения энергоэффективности, которые могут рассматриваться в контексте IPPC и НДТ. Это означает, что другие существующие или вновь разработанные методы могут быть столь же приемлемыми для этих целей.

Внедрение НДТ на вновь сооружаемых или существенно модернизируемых объектах или производственных линиях, как правило, не сопряжено с серьезными трудностями. В большинстве случаев оптимизация энергоэффективности является экономически выгодной. Однако внедрение НДТ на существующих установках часто оказывается не столь простым в силу унаследованной инфраструктуры и местных условий: необходимо принимать во внимание техническую и экономическую осуществимость модернизации этих установок. Применимость конкретных методов рассматривается в главах 2 и 3, а также, в контексте каждого из НДТ, в главе 4.

Тем не менее, настоящий документ в большинстве случаев не проводит различия между новыми и существующими установками. Введение такого различия не способствовало бы прогрессу существующих предприятий в направлении внедрения НДТ. Как правило, меры по повышению энергоэффективности обеспечивают определенную экономическую отдачу; кроме того, в силу признанной важности энергоэффективности существуют многочисленные схемы и меры по поддержке соответствующих усилий, включая финансовые стимулы. Некоторые из этих схем упоминаются в приложениях к настоящему документу.

Некоторые методы являются крайне желательными и часто реализуются, однако необходимым условием их применения может быть наличие третьей стороны и ее готовность к сотрудничеству (например, в случае когенерации). Подобные вопросы не рассматриваются Директивой IPPC. Следует заметить, что обеспечение сотрудничества третьих сторон и соглашений с ними может находиться за пределами возможностей оператора и, как следствие, за пределами условий комплексного разрешения.

Общие НДТ обеспечения энергоэффективности, применяемые на уровне установки

Ключевым элементом обеспечения энергоэффективности на уровне установки являются подходы, направленные на создание соответствующей системы менеджмента. Другие НДТ, применимые на уровне установки, вносят вклад в менеджмент энергоэффективности и позволяют получить больше информации о конкретных инструментах, необходимых для достижения поставленных целей. Эти методы применимы к любым типам установок. Масштабы применения (например, степень детальности, периодичность оптимизации, охватываемые системы) и конкретные применяемые методы зависят от масштаба и сложности установки, а также энергопотребления отдельных систем, входящих в ее состав.

Менеджмент энергоэффективности

- НДТ состоит во внедрении и поддержании функционирования системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ), в состав которой входят, в той мере, в какой это применимо к конкретным условиям, следующие элементы:
    - приверженность высшего руководства;
    - политика энергоэффективности для установки, утвержденная высшим руководством;
    - планирование, а также определение целей и задач;
    - разработка и соблюдение процедур, уделяющих особое внимание следующим вопросам:
        - организационная структура и ответственность персонала; обучение, осведомленность и компетентность; распространение информации; вовлечение персонала; документация; эффективный контроль производственных процессов; программы технического обслуживания; готовность к чрезвычайным ситуациям; обеспечение соответствия законодательным требованиям в области энергоэффективности и соответствующим соглашениям (если таковые существуют);
    - сравнительный анализ результативности установки;
    - оценка результативности и корректирующие действия, уделяющие особое внимание следующим вопросам:
        - мониторинг и измерения; корректирующие и профилактические действия; ведение записей; независимый (там, где это возможно) внутренний аудит с целью оценки того, соответствует ли система установленным требованиям, а также того, внедрена ли она и поддерживается надлежащим образом;
    - регулярный анализ СМЭЭ, ее соответствия целям, адекватности и результативности со стороны высшего руководства;
    - при проектировании новых установок, учет и систем воздействия на окружающую среду, связанного с их последующим выводом из эксплуатации;
    - разработка энергоэффективных технологий и отслеживание достижений в сфере методов обеспечения энергоэффективности.

СМЭЭ может включать следующие необязательные элементы:

- подготовка и публикация периодической декларации об энергоэффективности (с внешним подтверждением или без такового), позволяющей ежегодное сравнение результативности с поставленными целями и задачами;

- регулярная внешняя проверка и подтверждение (сертификация) системы менеджмента и процедуры аудита;
- внедрение и функционирование системы менеджмента энергоэффективности соответствующей добровольным стандартам, принятым на национальном или международном уровне.

Постоянное улучшение экологической результативности

- НДТ состоит в постоянном сведении к минимуму воздействия установки на окружающую среду посредством комплексного планирования мероприятий на кратко-, средне- и долгосрочную перспективу с учетом экономической целесообразности, а также взаимосвязи между воздействиями на различные компоненты окружающей среды.

Этот метод применимо ко всем типам установок. «Постоянное» означает, что деятельность по снижению воздействия не прекращается при достижении определенного уровня результативности, т.е., все плановые и инвестиционные решения должны принимать во внимание общую долгосрочную цель снижения воздействия деятельности на окружающую среду. Улучшения могут носить неравномерный, пошаговый, а не линейный характер и должны учитывать взаимосвязи между различными типами воздействия, например увеличение потребления энергии с целью снижения выбросов загрязняющих веществ. Воздействие на окружающую среду невозможно устранить полностью, и в отдельные моменты времени возможна ситуация, когда стимулы для дальнейшей деятельности незначительны или отсутствуют. Однако с течением времени степень целесообразности тех или иных мер может измениться.

Выявление аспектов энергоэффективности установки и возможностей для энергосбережения

- НДТ состоит в выявлении аспектов установки, влияющих на ее энергоэффективность, посредством организации аудита. Существенным является соответствие аудита принципам системного подхода.

Этот метод применим ко всем существующим установкам, и должен применяться до планирования реконструкции и модернизации. Аудит может быть внешним или внутренним.

- НДТ в процессе аудита состоит в выявлении следующих аспектов:
  - характер энергопотребления установки, а также систем и процессов, входящих в ее состав;
  - энергопотребляющее оборудование, а также тип и количество энергии, используемой установкой;
  - возможности минимизации энергопотребления, например:
    - контроль/сокращение времени работы оборудования, например, отключение неиспользуемого оборудования;
    - оптимизация теплоизоляции;
    - оптимизация энергохозяйства, инженерных сетей, а также связанных с ними систем и процессов (см. НДТ для энергопотребляющих систем).
  - возможности использования более эффективных альтернативных источников энергии, в частности, избыточной энергии от других процессов и/или систем;
  - возможности использования образующейся избыточной энергии в других процессах и/или системах;
  - возможности повышения качества тепловой энергии.
- НДТ состоит в использовании надлежащих инструментов и методик, позволяющих выявить и количественно оценить возможности для оптимизации энергопотребления, включая:
  - энергетические модели, базы данных и энергобалансы;

- аналитические методы, например, пинч-анализ, анализ эксергии или энтальпии, термоэкономика;
- оценки и расчеты.

Выбор адекватных инструментов зависит от отрасли и сложности установки, и обсуждается в соответствующих разделах документа.

- НДТ состоит в выявлении возможностей для оптимизации утилизации энергии в пределах установки, с передачей энергии между процессами внутри установки и/или третьей стороне (сторонам).

Практическая реализация данного НДТ зависит от возможности найти применение для избыточного тепла соответствующего типа и в таком количестве, которое может быть утилизировано на установке.

Системный подход к менеджменту энергоэффективности

- НДТ состоит в оптимизации энергоэффективности на основе системного подхода к менеджменту энергии на установке. Системы, которые должны рассматриваться как целое при оптимизации энергоэффективности, включают, в частности:
  - основное производственное оборудование (см. отраслевые Справочные документы);
  - системы отопления:
    - паровые;
    - водяные;
  - вакуумные системы и системы охлаждения (см. Справочный документ по промышленным системам охлаждения);
  - системы с электроприводом, в частности:
    - системы сжатого воздуха;
    - насосные системы;
  - осветительные системы;
  - системы сушки, сепарации и концентрирования.

Установление и пересмотр целей и показателей в области энергоэффективности

- НДТ состоит в установлении показателей энергоэффективности посредством выполнения всех следующих действий:
  - определение подходящих показателей энергоэффективности для установки и, там, где это необходимо, для отдельных процессов, систем и/или производственных единиц, и оценка изменения этих показателей с течением времени или после осуществления мероприятий по повышению энергоэффективности;
  - определение и документирование адекватных границ систем для целей расчета показателей;
  - определение и документирование факторов, которые могут вызывать изменение энергоэффективности значимых процессов, систем и/или производственных единиц.

Как правило, для мониторинга текущей ситуации используются показатели, основанные на вторичных формах энергии или формах энергии на уровне конечного потребителя. В некоторых случаях для каждого процесса может понадобиться более одного подобного показателя (например, показатели, отражающие потребление пара и электроэнергии). При принятии решения об использовании (или замене) энергоносителей или поставщиков энергоресурсов также могут применяться показатели, основанные на вторичных формах энергии. Однако, в зависимости от местных условий, могут использоваться и другие показатели, например, потребление первичной

энергии или углеродный баланс, позволяющие оценить эффективность производства вторичной энергии и его воздействие на различные природные среды.

Сравнительный анализ (бенчмаркинг)

- НДТ состоит в регулярном проведении систематического сравнительного анализа результативности с использованием отраслевых, национальных и региональных ориентиров, при наличии соответствующих подтвержденных данных.

Периодичность проведения сравнительного анализа зависит от конкретной отрасли и, как правило, составляет несколько лет, поскольку ориентировочные данные редко претерпевают существенные изменения за короткие промежутки времени.

Энергоэффективное проектирование (ЭЭП)

- НДТ состоит в оптимизации энергоэффективности при проектировании новой установки, производственной единицы или системы, или планировании их значительной модернизации, с учетом всех соображений, перечисленных ниже:
    - энергоэффективное проектирование (ЭЭП) должно начинаться на ранних стадиях концептуального/эскизного проектирования, даже если предполагаемые параметры инвестиций точно не определены, и должно приниматься во внимание при организации тендеров;
    - разработка и/или выбор энергоэффективных технологий;
    - для дополнения существующих данных и устранения пробелов в необходимой информации может потребоваться сбор дополнительных данных, осуществляемый в рамках проектирования или отдельно;
    - работы по ЭЭП должны выполняться экспертом-энергетиком (специалистом в области энергоэффективности);
    - в ходе исходного картирования энергопотребления необходимо, в частности, выявить, от каких лиц и подразделений в составе проектной организации или организации-заказчика зависит энергопотребление будущего объекта, а затем организовать взаимодействие с ними с целью оптимизации энергоэффективности последнего. Например, речь может идти о сотрудниках существующей установки, ответственных за определение эксплуатационных параметров будущего объекта.

Если организация не располагает собственными ресурсами для проектирования с учетом энергоэффективности (например, предприятие относится к неэнергоемкой отрасли), следует привлечь внешних экспертов в области энергоэффективности.

Повышение степени интеграции процессов

- НДТ состоит в стремлении к оптимизации использования энергии в рамках более чем одного процесса или системы в пределах установки или с участием третьей стороны.

Поддержание поступательного развития инициатив в области энергоэффективности НДТ состоит в поддержании поступательного развития программ повышения энергоэффективности посредством использования разнообразных методов, включая:

- внедрение системы менеджмента энергоэффективности;
- учет потребления энергии на основе фактического (измеренного) потребления, что возлагает ответственность за обеспечение энергоэффективности на конечного пользователя/плательщика, вознаграждая его за энергосбережение;
- создание центров прибыли, связанных с повышением энергоэффективности;
- сравнительный анализ результативности;
- анализ существующих систем менеджмента, позволяющий посмотреть на них свежим взглядом;
- использование методов управления изменениями внутри организации.

Методы, подобные первым трем, применяются на основе данных, доступных в соответствующих подразделениях.

Методы, подобные трем последним, должны применяться через достаточно большие промежутки времени, чтобы отслеживать результаты программы повышения энергоэффективности, т.е. раз в несколько лет.

Поддержание уровня квалификации

- НДТ состоит в поддержании уровня квалификации персонала в сфере энергоэффективности и энергопотребляющих систем посредством следующих методов:
    - привлечение квалифицированного персонала и/или обучение персонала. Обучение может проводиться собственными специалистами организации или внешними экспертами, в форме организованных учебных курсов или самообразования/профессионального развития;
    - периодическое освобождение работников от повседневных обязанностей для участия в плановых обследованиях или исследованиях по конкретному вопросу (в пределах их собственной установки или на другой установке);
    - обмен кадровыми ресурсами между объектами;
    - привлечение консультантов, обладающих необходимой квалификацией, для проведения плановых обследований;
    - делегирование специализированных функций и/или эксплуатации специализированных систем внешней организации.

Эффективный контроль технологических процессов

- НДТ состоит в обеспечении эффективного контроля технологических процессов посредством таких методов, как:
    - поддержание систем, обеспечивающих знание, понимание и выполнение персоналом установленных процедур;
    - обеспечение выявления ключевых параметров результативности, их оптимизации с точки зрения энергоэффективности, а также их мониторинга;
    - документирование этих параметров или ведение соответствующих записей.

Техническое обслуживание

- НДТ состоит в организации технического обслуживания на установках с целью оптимизации энергоэффективности при помощи всех нижеперечисленных методов:
    - четкое распределение ответственности за планирование и осуществление технического обслуживания;
    - формирование структурированной программы технического обслуживания, основанной на технической документации оборудования, нормативах и т.д., а также данных о любых отказах оборудования и их последствиях. Некоторые виды технического обслуживания целесообразно осуществлять во время плановых остановов оборудования;
    - поддержка программы технического обслуживания посредством надлежащей системы ведения записей и диагностических проверок;
    - выявление на основе результатов планового технического обслуживания, а также отказов и случаев нештатного функционирования оборудования возможных причин снижения энергоэффективности, а также возможностей для ее повышения;
    - выявление утечек, неисправного оборудования, изношенных подшипников и других факторов, которые могут повлиять на энергопотребление, и исправление их при первой же возможности.

Следует стремиться к балансу между оперативным производством ремонтных работ, обеспечением качества продукции и стабильности производственного процесса, а также соображениями охраны труда и производственной безопасности.

Мониторинг и измерения

- НДТ состоит в определении и соблюдении процедур регулярного мониторинга и измерения ключевых характеристик производственного процесса и видов деятельности, которые могут оказывать значительное влияние на энергоэффективность. Некоторые методы, которые могут применяться для этого, описаны в настоящем документе.

Наилучшие доступные технологии (методы) обеспечения энергоэффективности энергопотребляющих систем, процессов, видов деятельности и оборудования

НДТ общего характера, о которых шла речь выше, подразумевают необходимость рассмотрения установки как целого, а также оценки потребностей и назначения различных систем, их энергетических характеристик и их взаимодействия. Кроме того, эти НДТ включают следующее подходы:

- анализ и сравнение с ориентировочными параметрами систем и их результативности;
- планирование мероприятий и инвестиций по оптимизации энергоэффективности с учетом экономической целесообразности и влияния на различные природные среды;
- в случае новых систем – оптимизация энергоэффективности при проектировании установки, агрегата или системы, а также при выборе технологических процессов;
- в случае существующих систем – оптимизация энергоэффективности посредством надлежащей эксплуатации и менеджмента, включая регулярный мониторинг и техническое обслуживание.

Поэтому НДТ для отдельных систем, процессов и типов оборудования, о которых пойдет речь далее, подразумевают, что НДТ общего характера также применяются на соответствующих установках как часть их оптимизации. НДТ обеспечения энергоэффективности часто встречающихся видов деятельности, систем и процессов на установках, подпадающих под действие Директивы IPPC, можно охарактеризовать следующим образом:

- НДТ состоит в оптимизации:
    - систем сжигания топлива;
    - паровых систем;

посредством использования адекватных методов, включая:

    - методы, специфичные для конкретных отраслей и описанные в отраслевых Справочных документах;
    - методы, описанные в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам и в настоящем документе.

- НДТ состоит в оптимизации следующих систем и процессов с использованием методов, подобных описанным в настоящем документе:
    - системы сжатого воздуха;
    - насосные системы;
    - системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
    - системы освещения;
    - сушка, концентрирование и сепарация. Для этих процессов НДТ также включают изучение возможностей использования механической сепарации наряду с тепловыми процессами.

Утилизация тепла

- НДТ состоит в поддержании КПД теплообменников посредством обоих методов, названных ниже:
    - периодический мониторинг КПД;
    - предотвращение образования отложений и накипи или их удаление.

Методы для процессов охлаждения и соответствующие НДТ приведены в Справочном документе по промышленным системам охлаждения; при этом основной НДТ состоит в поиске полезного применения отходящего тепла вместо его рассеяния в процессе охлаждения. Там, где охлаждение необходимо, следует рассмотреть возможность применения свободного охлаждения (с использованием атмосферного воздуха).

Когенерация

- НДТ состоит в поиске возможностей для когенерации; при этом потребители могут находиться в пределах установки или за ее пределами (третья сторона).

Во многих случаях государственные органы (местного, регионального или национального уровня) оказывают содействие в достижении соглашения с третьей стороной или сами являются таковой.

Снабжение электроэнергией

- НДТ состоит в повышении коэффициента мощности в соответствии с требованиями местного поставщика электроэнергии при помощи методов, описанных в настоящем документе, там, где они применимы;
- НДТ состоит в проверке системы энергоснабжения на наличие высших гармоник и, при необходимости, использовании фильтров;
- НДТ состоит в оптимизации эффективности системы энергоснабжения при помощи методов, описанных в настоящем документе, там, где они применимы.

Подсистемы с электроприводом

Замена электродвигателей энергоэффективными двигателями (ЭЭД) и приводами переменной скорости представляет собой одну из очевидных мер повышения энергоэффективности. Однако целесообразность таких мер должна рассматриваться в контексте всей системы в, которой используются двигатели; в противном случае существуют риски:

- потери потенциальных выгод от оптимизации способа эксплуатации и размера систем и, как следствие, от оптимизации потребностей в электроприводах;
- потерь энергии в результате применения приводов переменной скорости в неподходящем контексте.
- НДТ состоит в применении следующей последовательности шагов по оптимизации электроприводов:
    - оптимизируйте всю систему, в состав которой входят электроприводы (например, систему охлаждения);
    - затем оптимизируйте приводы в системе в соответствии с вновь определенными требованиями к нагрузке, используя один или несколько описанных методов, там, где они применимы;
    - после оптимизации энергопотребляющих систем оптимизируйте оставшиеся (неоптимизированные) двигатели, используя описанные методы и следующие критерии:
        - оставшиеся двигатели, эксплуатируемые более 2000 часов в год, являются приоритетными для замены ЭЭД;
        - для приводов, эксплуатируемых с переменной нагрузкой, работающих с мощностью менее 50% максимальной более 20% времени эксплуатации и

работающих более 2000 часов в год следует рассмотреть возможность замены приводами переменной скорости.

Уровень консенсуса

При подготовки документа был достигнут высокий уровень консенсуса. Особых мнений не зафиксировано.

Исследования и развитие технологий

В рамках программ RTD EC инициирует и поддерживает ряд проектов в области более чистых технологий, новых методов очистки сточных вод, а также технологий и стратегий менеджмента в области вторичной переработки. Результаты этих проектов могут оказаться полезными при будущем пересмотре настоящего документа. Поэтому Европейское бюро по IPPC приглашает читателей сообщать о любых результатах исследований, имеющих отношение к области применения настоящего документа (см. также предисловие).

Предисловие

1. Статус настоящего документа

Если не указано иное, термин «Директива», употребляемый в настоящем документе, означает Директиву Совета 96/61/ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнения (окружающей среды). Поскольку положения Директивы должны применяться без ущерба нормативным актам Сообщества об охране здоровья и безопасности на производстве, то же ограничение относится и к информации, содержащейся в настоящем документе.

Настоящий Справочный документ представляет собой часть серии документов, представляющих результаты обмена информацией между государствами – членами ЕС и промышленными предприятиями по вопросам наилучших доступных технологий (НДТ), связанного с ними мониторинга и их развития. *[Настоящий документ публикуется Европейской Комиссией в соответствии со статьей 16(2) Директивы и, следовательно, его содержание должно учитываться при определении «наилучших доступных технологий» в соответствии с Приложением IV к Директиве].

*Примечание: скобки будут сняты после завершения официальной процедуры публикации документа Комиссией.

2. Мандат на подготовку настоящего документа

Конкретный мандат на подготовку этого документа был сформулирован в коммюнике Комиссии, посвященном реализации Европейской программы по изменению климата (COM(2001)580 final), в виде специального запроса относительно энергоэффективности промышленных установок. Коммюнике содержало просьбу обеспечить реализацию положений Директивы IPPC, касающихся энергоэффективности, и подготовить специальный Справочный документ «горизонтального» характера, посвященный общим методам обеспечения энергоэффективности вне зависимости от конкретной отрасли.

3. Значимые нормативно-правовые положения Директивы КПКЗ и определение НДТ

Для того чтобы облегчить читателю понимание правового контекста подготовки настоящего документа, ниже приведены соответствующие положения Директивы КПКЗ, включая определение понятия «наилучшие доступные технологии». Это описание с неизбежностью является неполным и приводится лишь в информационных целях. Оно не имеет юридической силы и никоим образом не изменяет и не ограничивает положений самой Директивы.

Целью Директивы является обеспечение комплексного предотвращения и контроля загрязнения, вызываемого видами производственной деятельности, перечисленными в Приложении I, для обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, включая эффективность использования энергии и рациональное использование природных ресурсов. Основу правовых положений Директивы составляют требования, направленные на обеспечение охраны окружающей среды. В то же время при осуществлении этих положений должны учитываться другие цели сообщества, в частности, повышение конкурентоспособности промышленности Сообщества и устранение непосредственной связи между экономическим ростом и энергопотреблением, способствующее устойчивому развитию. Дополнительная информация о правовых рамках обеспечения энергоэффективности в контексте положений Директивы приведена в разделе «Область применения».

Говоря более конкретно, Директива предусматривает создание для некоторых промышленных объектов разрешительной системы, требующей как от регулирующих органов, так и от компаний-операторов целостного, комплексного и всестороннего рассмотрения возможного потребления ресурсов и загрязнения окружающей среды в результате деятельности объекта. Общей целью такого комплексного подхода должно быть улучшение качества проектирования, строительства, управления и эксплуатации производственных объектов для обеспечения высокого уровня

охраны окружающей среды в целом. В центре этого подхода лежит установленный статьей 3 общий принцип, согласно которому компании-операторы должны предпринимать все надлежащие меры по предотвращению загрязнения, в частности, путем применения наилучших доступных технологий, обеспечивая таким образом повышение экологической результативности, включая энергоэффективность.

Центральное для подхода КПКЗ понятие «наилучших доступных технологий» (НДТ) определяется в статье 2(12) Директивы как «наиболее эффективная и передовая стадия в развитии производственной деятельности и методов эксплуатации объектов, которая определяет практическую пригодность определенных технологий в качестве принципиальной основы для установления предельных величин выбросов и сбросов, предназначенных для предотвращения или, если это практически невозможно, сокращения выбросов и сбросов и воздействия на окружающую среду в целом». Далее в статье 2(12) это понятие разъясняется следующим образом:

- «технологии»[1] включают в себя как используемые технологии, так и способ которым объект спроектирован, построен, обслуживается, эксплуатируется и выводится из эксплуатации;
- под «доступными» понимаются технологии, уровень развития которых делает возможным их внедрение в соответствующей отрасли промышленности с учетом экономической и технической целесообразности, а также затрат и выгод, независимо от того, используются и производятся ли эти технологии внутри данного государства-члена, если они могут обоснованно считаться доступными для оператора;
- под «наилучшими» понимаются технологии, наиболее действенные в отношении обеспечения общего высокого уровня охраны окружающей среды в целом.

Кроме того, Приложение IV к Директиве содержит перечень «соображений, которые необходимо принимать во внимание, вообще или в конкретных случаях, при определении наилучших доступных технологий с учетом возможных затрат и выгод, а также принципов предосторожности и предотвращения загрязнения». Этот перечень включает, в частности, информацию, публикуемую Комиссией в соответствии со статьей 17(2) Директивы.

Уполномоченные органы, ответственные за выдачу разрешений, должны принимать во внимание общие принципы, изложенные в Статье 3, при определении условий разрешения. Эти условия должны включать предельные величины выбросов и сбросов, замененные или дополненные, там, где это уместно, эквивалентными параметрами или техническими мерами. Согласно Статье 9(4) Директивы:

[без ущерба для положений Статьи 10 о наилучших доступных технологиях, стандартах качества окружающей среды и соответствии этим стандартам], предельные величины выбросов и сбросов, эквивалентные параметры и технические меры должны основываться на наилучших доступных технологиях, без предписания использовать какие-либо методы или конкретные технологии, но с учетом технических характеристик рассматриваемой установки, ее географического положения и местных условий окружающей среды. Во всех случаях условия разрешения должны предусматривать меры, направленные на сведение к минимуму [количества] загрязняющих веществ, распространяющихся на большие расстояния, или трансграничного загрязнения, а также на обеспечение высокого уровня охраны окружающей среды в целом.

Согласно Статье 11 Директивы, государства – члены ЕС должны создать условия для того, чтобы уполномоченные органы следили за достижениями в области наилучших доступных технологий или получали информацию о них.

4. Цель настоящего документа

Настоящий документ содержит общие рекомендации по реализации требований Директивы, охарактеризованных в предыдущем разделе.

Статья 17(2) Директивы требует от Комиссии организовать «обмен информацией между государствами – членами ЕС и промышленными предприятиями по вопросам наилучших

[1] В оригинале использован термин *techniques,* более широкий, *чем technologies*. (*Прим. пер.*)

доступных технологий, связанного с ними мониторинга и их развития», а также публикацию результатов обмена информацией.

Цель обмена информацией определена в п.27 Преамбулы к Директиве следующим образом: «сбор данных и обмен информацией о наилучших доступных технологиях на уровне Сообщества будет способствовать устранению технологических диспропорций внутри Сообщества и всемирному распространению предельных величин воздействия и технологий, применяемых в Сообществе, а также содействовать государствам-членам в эффективном выполнении настоящей Директивы».

Для содействия деятельности, осуществляемой во исполнение статьи 17(2), Европейская Комиссия (Генеральная дирекция по окружающей среде) учредила Форум по обмену информацией (ФОИ) и сформировала ряд технических рабочих групп под эгидой Форума. В соответствии с требованиями статьи 17(2), как Форум, так и отдельные технические рабочие группы включают представителей государств – членов ЕС и промышленности.

Целью настоящей серии документов является адекватное отражение результатов обмена информацией, осуществляемого в соответствии с требованиями статьи 17(2), а также обеспечение органов, выдающих разрешение, справочной информацией, которая должна учитываться при определении условий разрешений. Эти документы, содержащие значимую информацию по наилучшим доступным технологиям, призваны служить полезными инструментами повышения экологической результативности, в т.ч. в области энергоэффективности.

5. Источники информации

Настоящий документ представляет собой сводку информации, собранной из ряда источников, в частности, благодаря деятельности групп, учрежденных для содействия работе Комиссии, и проверенной с использованием служб Комиссии. Комиссия выражает благодарность лицам и организациям, предоставившим информацию для подготовки документа, а также группам экспертов.

6. Как использовать настоящий документ

Настоящий документ предназначен для использования в качестве одного из источников информации при определении НДТ обеспечения энергоэффективности в конкретных случаях. При определении НДТ и основанных на НДТ условий разрешения следует всегда учитывать основную цель Директивы – обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, в том числе за счет повышения энергоэффективности.

Остальная часть этого раздела кратко описывает структуру настоящего документа и информацию, содержащуюся в каждой главе.

Глава 1 содержит введение в основные понятия и концепции, связанные с энергией и энергоэффективностью, включая законы термодинамики. В главе обсуждаются вопросы определения энергоэффективности в контексте промышленных предприятий, формирования и определения показателей энергоэффективности, а также важность определения границ установок, систем и/или производственных единиц.

Главы 2 и 3 посвящены более подробному описанию конкретных методов повышения энергоэффективности, которые применяются более чем в одном промышленном секторе и рассматриваются как наиболее значимые для определения НДТ и условий разрешения, основанных на НДТ:

- В главе 2 описываются технологии, которые должны рассматриваться на уровне установки[2] в целом;

[2] При использовании настоящего и других Справочных документов следует учитывать специфику использования термина «установка» в контексте Директивы КПКЗ. Директива определяет установку как «стационарный технический объект, на котором осуществляются один или более видов производственной деятельности, перечисленных в Приложении I, и любые иные прямо связанные с ними виды деятельности, технически объединенные с деятельностью, осуществляемой на данном объекте, и способные оказывать воздействие на выбросы и загрязнение». Таким образом, установка в данном контексте фактически

- В главе 3 описываются технологии, которые должны рассматриваться для конкретных систем, процессов, видов деятельности и оборудования, которые характеризуются значительным энергопотреблением и часто входят в состав установок.

В этих главах содержится информация о методах, которыми может достигаться повышение энергоэффективности, затратах и видах воздействия на окружающую среду, связанных с конкретными методами, а также о применимости методов в условиях установок, требующих разрешения КПКЗ. Например, метод может быть применим в условиях новых, существующих, крупных или небольших установок.

В главе, посвященной НДТ (глава 4), представлены методы, которые считаются совместимыми с НДТ в общем смысле. Целью главы является предоставление общей информации о методах обеспечения энергоэффективности, которая может использоваться в качестве реалистичного ориентира при определении условий разрешения, основанных на НДТ, а также при выработке общеобязательных правил в соответствии со Статьей 9(8). Следует, однако, отметить, что документ не предлагает конкретных нормативов энергоэффективности для использования в разрешениях. Выработка адекватных условий разрешения требует учета таких факторов, специфичных для конкретного объекта, как технические характеристики рассматриваемой установки, ее географическое положение и местные условия окружающей среды. В случае существующих установок необходимо также принимать во внимание техническую и экономическую осуществимость их модернизации. Даже единственная цель обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом часто требует компромисса между различными видами воздействия на окружающую среду, причем конкретный характер такого компромисса часто зависит от местных условий.

Хотя при подготовке настоящего документа был сделана попытка затронуть некоторые из этих вопросов, невозможно отразить в одном документе весь диапазон возможных местных условий. Поэтому методы, представленные в главе 4, не обязательно применимы для любых установок. С другой стороны, необходимость обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, включая минимизацию загрязнений, распространяющихся на большие расстояния, и трансграничного загрязнения, подразумевает, что условия разрешений не могут формулироваться исключительно на основе местных соображений. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы информация, представленная в настоящем документе, была в полной мере принята во внимание органами, ответственными за выдачу разрешений.

Поскольку уровень наилучших доступных технологий меняется с течением времени, настоящий документ будет пересматриваться и дополняться по мере необходимости. Все замечания и предложения следует направлять в Европейское бюро КПКЗ в Институте перспективных технологических исследований по следующему адресу:

Edificio Expo, c/Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, Spain

Тел.: +34 95 4488 284

Факс: +34 95 4488 426

Электронная почта: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu

Интернет: http://eippcb.jrc.es

является эквивалентом производственного предприятия или отдельного производства в составе комбината. (*Прим.пер.*)

Содержание

Краткое содержание i
Предисловие xiv
1. Статус настоящего документа xiv
2. Мандат на подготовку настоящего документа xiv
3. Значимые нормативно-правовые положения Директивы КПКЗ и определение НДТ xiv
4. Цель настоящего документа xv
5. Источники информации xvi
6. Как использовать настоящий документ xvi
Область применения xxiii
1. Введение и определения 1
1.1. Введение 1
1.1.1. Энергия в промышленном секторе ЕС 1
1.1.2. Воздействия энергопотребления на окружающую среду и экономику 2
1.1.3. Вклад энергоэффективности в сокращение эффектов глобального потепления и повышение устойчивости 3
1.1.4. Энергоэффективность и Директива КПКЗ 4
1.1.5. Место энергоэффективности в системе комплексного предотвращения и контроля загрязнения 6
1.1.6. Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды 7
1.2. Понятие энергии и законы термодинамики 9
1.2.1. Энергия, теплота, мощность и работа 9
1.2.2. Законы термодинамики 12
1.3. Определения показателей энергоэффективности и повышения энергоэффективности 20
1.3.1. Вопросы энергоэффективности и ее оценки в Директиве IPPC 20
1.3.2. Эффективное и неэффективное использование энергии 20
1.3.3 Показатели энергоэффективности 21
1.3.4. Практическое применение показателей 24
1.3.5. Значимость систем и границ систем 26
1.3.6. Другие используемые термины 26
1.4. Показатели энергоэффективности в промышленности 31
1.4.1. Введение: определение показателей и других параметров 31
1.4.2. Энергоэффективность производственных единиц 32
1.4.3. Энергоэффективность предприятия 36
1.5. Вопросы, которые должны быть рассмотрены при определении показателей энергоэффективности 38
1.5.1. Определение границ системы 38
1.5.2. Другие существенные вопросы, заслуживающие рассмотрения на уровне установки 44
2. Технологии, которые следует рассматривать для обеспечения энергоэффективности на уровне установки 51
2.1. Системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ) 52
2.2. Планирование и определение целей и задач 63
2.2.1. Постоянное улучшение экологической результативности и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды 63
2.2.2. Системный подход к менеджменту энергоэффективности 65
2.3. Энергоэффективное проектирование (ЭЭП) 66
2.3.1. Выбор технологии производственного процесса 74
2.4. Повышение степени интеграции процессов 76

2.5. Обеспечение дальнейшего развития инициатив в области энергоэффективности и поддержание мотивации ... 77
2.6. Поддержание и повышение квалификации персонала ... 80
2.7. Информационный обмен ... 83
2.7.1. Диаграммы Сэнки ... 84
2.8. Эффективный контроль технологических процессов ... 86
2.8.1. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ... 86
2.8.2. Менеджмент (контроль, обеспечение) качества ... 89
2.9. Техническое обслуживание ... 92
2.10. Мониторинг и измерения ... 94
2.10.1. Косвенные методы мониторинга ... 94
2.10.2. Оценки и расчеты ... 95
2.10.3. Учет потребления энергоресурсов и усовершенствованные системы учета ... 97
2.10.4. Снижение потери давления при измерении расходов в трубопроводах ... 98
2.11. Энергоаудиты и энергетическая диагностика ... 100
2.12. Пинч-анализ ... 105
2.13. Энтальпийный и эксергетический анализ ... 111
2.14. Термоэкономика ... 114
2.15. Энергетические модели ... 116
2.15.1. Энергетические модели, базы данных и балансы ... 116
2.15.2. Оптимизация использования энергоресурсов и управление ими на основе моделей ... 119
2.16. Сравнительный анализ ... 124
2.17. Прочие инструменты ... 127
3. Технологии, которые следует рассматривать для обеспечения энергоэффективности на уровне энергопотребляющих систем, процессов и видов деятельности ... 128
3.1. Сжигание ... 129
3.1.1. Снижение температуры дымовых газов ... 135
3.1.2. Рекуперативные и регенеративные горелки ... 140
3.1.3. Сокращение массового расхода дымовых газов за счет снижения избытка воздуха горения ... 142
3.1.4. Автоматизированное управление горелками ... 143
3.1.5. Выбор топлива ... 144
3.1.6. Кислородное сжигание ... 145
3.1.7. Сокращение потерь тепла при помощи теплоизоляции ... 147
3.1.8. Сокращение потерь тепла через отверстия печей ... 148
3.2. Паровые системы ... 148
3.2.1. Общие свойства пара ... 148
3.2.2. Обзор методов повышения энергоэффективности паровых систем ... 152
3.2.3. Дросселирование и использование турбодетандеров ... 154
3.2.4. Методы эксплуатации и управления технологическим процессом ... 156
3.2.5. Предварительный подогрев питательной воды (в т.ч. с помощью экономайзера) ... 158
3.2.6. Предотвращение образования и удаление накипи с поверхностей теплообмена ... 160
3.2.7. Оптимизация продувки котла ... 162
3.2.8. Оптимизация расхода пара в деаэраторе ... 164
3.2.9. Оптимизация работы котла короткими циклами ... 166
3.2.10. Оптимизация пароraспределительных систем ... 167
3.2.11. Теплоизоляция паропроводов и конденсатопроводов ... 168
3.2.12. Реализация программы контроля состояния конденсатоотводчиков и их ремонта ... 171
3.2.13. Сбор и возврат конденсата в котел ... 175
3.2.14. Использование самоиспарения ... 176
3.2.15. Утилизация энергии продувочной воды котла ... 178
3.3. Утилизация тепла и охлаждение ... 179

3.3.1. Теплообменники ... 181
3.3.2. Тепловые насосы (в т.ч. механическая рекомпрессия пара) ... 185
3.3.3. Системы охлаждения и холодильные установки ... 192
3.4. Когенерация ... 195
3.4.1. Различные методы когенерации ... 195
3.4.2. Тригенерация ... 204
3.4.3. Централизованное холодоснабжение ... 207
3.5. Электроснабжение ... 210
3.5.1. Компенсация реактивной мощности ... 210
3.5.2. Гармоники ... 213
3.5.3. Оптимизация систем электроснабжения ... 214
3.5.4. Энергоэффективная эксплуатация трансформаторов ... 215
3.6. Подсистемы с электроприводом ... 217
3.6.1. Энергоэффективные двигатели ... 221
3.6.2. Выбор оптимальной номинальной мощности двигателя ... 223
3.6.3. Приводы с переменной скоростью ... 224
3.6.4. Потери при передаче механической энергии ... 224
3.6.5. Ремонт двигателей ... 225
3.6.6. Перемотка ... 225
3.6.7. Экологические преимущества, воздействие на различные компоненты окружающей среды, применимость и другие соображения относительно методов повышения энергоэффективности систем с электроприводом ... 226
3.7. Системы сжатого воздуха ... 228
3.7.1. Оптимизация общего устройства системы ... 235
3.7.2. Использование приводов с переменной скоростью ... 238
3.7.3. Высокоэффективные электродвигатели ... 239
3.7.4. Централизованная система управления системой сжатого воздуха ... 240
3.7.5. Утилизация тепла ... 244
3.7.6. Сокращение утечек в системах сжатого воздуха ... 246
3.7.7. Техническое обслуживание фильтров ... 248
3.7.8. Использование холодного наружного воздуха для питания компрессоров ... 249
3.7.9. Оптимизация давления системы ... 251
3.7.10. Создание запаса сжатого воздуха вблизи потребителей с существенно варьирующим уровнем потребления ... 253
3.8. Насосные системы ... 253
3.8.1. Инвентаризация и оценка насосных систем ... 254
3.8.2. Выбор насоса ... 255
3.8.3. Оптимизация трубопроводной системы ... 257
3.8.4. Техническое обслуживание ... 257
3.8.5. Управление насосными системами и их регулирование ... 258
3.8.6. Привод и передача ... 259
3.8.7. Экологические преимущества, воздействие на различные компоненты окружающей среды, применимость и другие соображения относительно методов повышения энергоэффективности насосных систем ... 259
3.9. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ) ... 261
3.9.1. Отопление и охлаждение помещений ... 261
3.9.2. Вентиляция ... 263
3.9.3. Естественное охлаждение ... 270
3.10. Освещение ... 271
3.11. Процессы сушки, сепарации и концентрирования ... 276
3.11.1. Выбор оптимальной технологии или сочетания технологий ... 277
3.11.2. Механические процессы ... 280
3.11.3. Методы термической сушки ... 281
3.11.4. Радиационная сушка ... 289
3.11.5. Системы автоматизированного управления процессами термической сушки ... 292

4. Наилучшие доступные технологии ... 293
4.1. Введение ... 293
4.2. Наилучшие доступные технологии обеспечения энергоэффективности на уровне установки ... 299
4.2.1. Менеджмент энергоэффективности ... 299
4.2.2. Планирование и определение целей и задач ... 300
4.2.3. Энергоэффективное проектирование (ЭЭП) ... 305
4.2.4. Повышение степени интеграции технологических процессов ... 305
4.2.5. Поддержание поступательного развития инициатив в области энергоэффективности ... 306
4.2.6. Поддержание уровня квалификации персонала ... 306
4.2.7. Эффективный контроль технологических процессов ... 307
4.2.8. Техническое обслуживание ... 307
4.2.9. Мониоринг и измерения ... 308
4.3. Наилучшие доступные технологии обеспечения энергоэффективности энергопотребляющих систем, технологических процессов, видов деятельности и оборудования ... 308
4.3.1. Сжигание ... 308
4.3.2. Паровые системы ... 311
4.3.3. Утилизация тепла ... 313
4.3.4. Когенерация ... 314
4.3.5. Электроснабжение ... 315
4.3.6. Подсистемы с электроприводом ... 316
4.3.7. Системы сжатого воздуха ... 317
4.3.8. Насосные системы ... 318
4.3.9. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ) ... 320
4.3.10. Освещение ... 322
4.3.11. Процессы сушки, сепарации и концентрирования ... 322
5. Новые технологии обеспечения энергоэффективности ... 325
5.1. Беспламенное сжигание (беспламенное окисление) ... 325
5.2. Сжатый воздух как средство хранения энергии ... 329
6. Заключительные замечания ... 331
6.1. Временные рамки и основные этапы подготовки настоящего документа ... 331
6.2. Источники информации ... 331
6.3. Степень консенсуса ... 333
6.4. Пробелы и дублирование информации. Рекомендации по дальнейшему сбору информации и исследованиям ... 333
6.4.1. Пробелы и дублирование информации ... 333
6.4.3. Конкретная производственная информация ... 336
6.4.3. Направления дальнейших исследований и практической деятельности ... 336
6.5. Пересмотр настоящего документа ... 338
Источники ... 339
Глоссарий ... 346
7. Приложения ... 360
7.1. Энергия и законы термодинамики ... 360
7.1.1. Общие принципы ... 360
7.1.2. Первый и второй законы термодинамики ... 362
7.1.3. Диаграммы свойств, таблицы свойств, базы данных и программы ... 367
7.1.4. Использованные обозначения ... 369
7.2. Примеры термодинамической необратимости ... 371
7.2.1. Пример 1. Дросселирование ... 371
7.2.2. Пример 2. Теплообменники ... 373
7.2.3. Пример 3. Процессы перемешивания ... 375

7.3. Примеры анализа энергоэффективности производства 378
7.3.1. Производство этилена методом парового крекинга 378
7.3.2. Производство мономера винилацетата (MBA) 380
7.3.3. Горячая прокатка стали 381
7.4. Примеры внедрения систем менеджмента энергоэффективности 383
7.5. Примеры энергоэффективных технологических процессов 386
7.6. Пример подхода к поступательному развитию инициатив в сфере энергоэффективности: «совершенство в производственной деятельности» 389
7.7. Мониторинг и измерения 390
7.7.1. Количественные измерения 390
7.7.2. Оптимизация использования энергоресурсов 390
7.7.3. Энергетические модели, базы данных и балансы 391
7.8. Другие инструменты аудита и поддержки мероприятий по повышению энергоэффективности на уровне предприятия 394
7.8.1. Инструменты аудита и менеджмента энергоэффективности 394
7.9. Сравнительный анализ 396
7.9.1. Нефтеперерабатывающие заводы 396
7.9.2. Австрийское энергетическое агентство 398
7.9.3. Схема для норвежских МСП 398
7.9.4. Соглашения о сравнительном анализе в Нидерландах 398
7.9.5. Сравнительный анализ в стекольной промышленности 399
7.9.6. Распределение энергозатрат и выбросов CO_2 между различными видами продукции в сложном последовательном процессе 400
7.10. Примеры к главе 3 401
7.10.1. Паровые системы 401
7.10.2. Утилизация отходящего тепла 408
7.11. Мероприятия на стороне потребителя 415
7.12. Энергосервисные компании 416
7.13. Сайт Европейской комиссии, посвященный вопросам энергоэффективности и Национальные планы действий государств-членов 421
7.14. Европейская схема торговли квотами (ETS) 422
7.15. Оптимизация транспортных систем 424
7.15.1. Энергоаудит транспортных систем 425
7.15.2. Менеджмент энергоэффективности автомобильного транспорта 425
7.15.3. Улучшение упаковки с целью оптимизации использования транспорта 430
7.16. Европейский топливный баланс 431
7.17. Коррекция коэффициента мощности при электроснабжении 433

Область применения

Настоящий документ в сочетании с другими Справочными документами (см. перечень на обороте титульного листа) предназначен для освещения вопросов энергоэффективности в контексте применения Директивы КПКЗ. Энергоэффективность не ограничена какой-либо одной из отраслей, перечисленных в Приложении I к Директиве, но представляет собой «горизонтальную», межотраслевую проблему, которая должна приниматься во внимание при осуществлении любой производственной деятельности (как описано ниже). Прямые и косвенные ссылки на вопросы энергоэффективности и использования энергии содержатся в следующих пунктах Преамбулы и статьях Директивы (в порядке следования в тексте):

- (Преамбула) 2. Принимая во внимание, что цели и принципы природоохранной политики Сообщества, изложенные в Статье 130r Договора, состоят, в частности, в предотвращении, сокращении и, насколько это возможно, устранении загрязнения окружающей среды, в первую очередь, путем принятия мер в отношении источников загрязнения и **обеспечения рационального использования природных ресурсов** в соответствии с принципом «загрязнитель платит» и принципом предотвращения загрязнения (*большая часть энергии, потребляемой в Европе, производится на основе невозобновляемых источников*);
- (Преамбула) 3. Принимая во внимание, что Пятая Программа действий по охране окружающей среды, … в резолюции от 1 февраля 1993 года о политике и действиях Сообщества в отношении охраны окружающей среды и устойчивого развития (4), придает **первостепенное значение комплексному контролю загрязнения как одной из важнейших предпосылок достижения более устойчивого равновесия между человеческой деятельностью и социально-экономическим развитием, с одной стороны, и естественными ресурсами и способностью природы к восстановлению, с другой**;
- Статья 2(2): под "загрязнением" понимается прямое или опосредованное внесение … вибраций, **тепла** или шума … которое может быть вредным для человеческого здоровья или окружающей среды… (*вибрация, тепло или шум представляют собой различные проявления энергии*);
- Статья 3: Государства-члены должны предпринимать необходимые меры для обеспечения уполномоченными органами такой эксплуатации объектов, чтобы:
    - (d) **энергия использовалась эффективным образом**;
- Статья 6(1): Государства-члены должны предпринимать необходимые действия для того, чтобы заявление в уполномоченный орган содержало описание:
    - сырья и вспомогательных материалов, иных веществ и **энергии, потребляемых или производимых** установкой;
- Статья 9(1): …государства-члены должны создать необходимые условия для того, чтобы в разрешение были включены все меры, необходимые для выполнения требований Статей 3 и 10 (***что включает энергоэффективность, см. ст. 3 выше***);
- Приложение IV (п. 9): К числу соображений, которые должны приниматься во внимание при определении НДТ, вообще или в конкретных случаях, относится «потребление и характер сырья (включая воду), используемого в технологическом процессе, и эффективность **использования энергии**».

Директива КПКЗ была дополнена Директивой Совета 2003/87/ЕС от 13 октября 2003 г., установившей схему торговли разрешениями на выбросы в пределах Сообщества (Директива ETS):

- Статья 9(3): Для видов деятельности, перечисленных в Приложении 1 к Директиве 2003/87/ЕС, государства-члены могут принять решение **не вводить требования в сфере энергоэффективности** в отношении **производственных единиц по сжиганию топлива и других производственных единиц на предприятии, выбрасывающих диоксид углерода**.

Обеспечение энергоэффективности является одним из приоритетных направлений деятельности Европейского Союза, и настоящий документ связан с рядом других политических и правовых документов Комиссии. Важнейшие документы такого рода включают:

Политические документы:

- Берлинская декларация, март 2007 г.;
- План действий в области энергоэффективности (COM(2006)545 final), октябрь 2007 г.;
- «Зеленый доклад» (Green Paper) по энергоэффективности (COM(2005)265), 22 июня 2005 г.;
- Коммюнике Комиссии о реализации Европейской программы по изменению климата (COM(2001)580 final), положения об энергоэффективности промышленных установок (в этом документе сформулирован мандат на разработку настоящего Справочного документа, см. Предисловие);
- «Зеленый доклад» (Green Paper) «К европейской стратегии безопасности энергоснабжения» (COM(2000) 769 final), 29 ноября 2000 г.

Правовые документы:

- Директива Совета 2004/8/ЕС от 11 февраля 2004 г. о развитии когенерации на основе спроса на полезное тепло на внутреннем рынке и о дополнении Директивы 92/42/ЕЕС;
- Директива Совета 2006/32/ЕС от 5 апреля 2006 г. об эффективности конечного использования энергии, энергетических услугах и отмене Директивы Совета 93/76/ЕЕС;
- рамочная Директива об установлении требований к эко-проектированию (проектированию для окружающей среды) энергопотребляющей продукции, EuP (2005/32/ЕС).

Другие инструменты реализации политики:

- План действий по обеспечению устойчивой промышленной политики;
- Пакет по энергоэффективности для малых и средних предприятий, разработанный в рамках деятельности по внедрению стандарта EMAS;
- исследования и проекты в рамках программ Intelligent Energy – Europe и SAVE, направленных на повышение энергоэффективности зданий и промышленной деятельности.

Настоящий документ также связан со Справочными документами для конкретных отраслей промышленности («вертикальные» Справочные документы), в частности, Справочным документом по крупным топливосжигающим установкам (LCP), в котором вопросы энергоэффективности занимают значительное место. Кроме того, он связан со Справочным документом по промышленным системам охлаждения (ICS) и Справочным документом по очистке сточных вод и отходящих газов в химической промышленности (CWW) («горизонтальные» справочные документы, применимые более чем к одной отрасли).

Вопросы энергоэффективности в настоящем документе

Политические документы относят энергетическую политику (включая сокращение потребления энергии) и охрану климата (прежде всего, сокращение выбросов парниковых газов) к важнейшим приоритетам деятельности Европейского Союза.

В Директиву КПКЗ были внесены поправки с учетом Директивы о создании Европейской схемы торговли выбросами[3] (а также с учетом требований Орхусской конвенции). Тем не менее, эффективное использование энергии остается одним из общих принципов Директивы КПКЗ. Суть поправок, связанных с торговлей выбросами, сводится к тому, что для видов деятельности,

[3] Директива 2003/87/ЕС Европейского Парламента и Совета от 13 октября 2003 г. об установлении схемы торговли выбросами парниковых газов в пределах Сообщества и о внесении поправок в Директиву 96/61/ЕС. См. Приложение 7.14

перечисленных в Приложении 1 к Директиве 2003/87/ЕС, государства-члены могут принять решение не вводить требования в сфере энергоэффективности в отношении производственных единиц по сжиганию топлива и других производственных единиц предприятия, непосредственно выбрасывающих диоксид углерода. Однако эта гибкость не распространяется на производственные единицы в пределах той же установки, непосредственно не выбрасывающие диоксид углерода.

Поэтому рекомендации настоящего документа по обеспечению энергоэффективности применимы к любым установкам, подпадающим под действие Директивы КПКЗ (а также систем и производственных единиц, входящих в их состав). Кроме того, рекомендации настоящего документа могут быть полезны для операторов и предприятий, не подпадающих под действие Директивы КПКЗ.

К области действия Директивы КПКЗ относятся виды деятельности, перечисленные в Приложении I к Директиве, а также виды деятельности, непосредственно связанные с ними в техническом отношении. Действие Директивы не распространяется на продукцию. Поэтому проблематика энергоэффективности в контексте Директивы и настоящего документа исключает любое рассмотрение энергоэффективности продукции, включая ситуации, в которых более энергоэффективная продукция может выпускаться за счет повышения энергозатрат на ее производство. (Например, когда дополнительная энергия затрачивается на производство более прочной стали, что позволяет производить более легкие автомобили, потребляющие меньше топлива). Некоторые подходы передовой практики, которые могут применяться оператором, но находятся вне области действия разрешительной системы КПКЗ, описаны в приложениях к настоящему документу (например, в Приложении 7.15 применительно к транспорту).

Эффективное использование энергии и устранение непосредственной связи между энергопотреблением и экономическим ростом являются важнейшими приоритетами политики в области устойчивого развития. Директива КПКЗ рассматривает энергию как один из видов ресурсов и требует ее эффективного использования вне зависимости от источника энергии. Поэтому в настоящем документе обсуждается эффективность использования энергии из любых источников для производства продукции и услуг в пределах установки. В контексте документа замена первичного топлива вторичными видами топлива или переход к использованию энергии из возобновляемых источников не рассматриваются в качестве повышения энергоэффективности. Замена ископаемого топлива другими источниками является важной задачей и сопряжена с такими преимуществами, как сокращение общих выбросов CO_2 и других парниковых газов, повышение устойчивости и надежности энергоснабжения, однако эти вопросы рассматриваются в других источниках. В Справочных документах по некоторым отраслям рассматриваются вопросы использования вторичного топлива и отходов в качестве источников энергии.

В некоторых источниках употребляется термин «менеджмент энергоэффективности», тогда как другие источники отдают предпочтение термину «энергетический менеджмент». В данном документе, если не указано иное, оба термина означают деятельность, направленную на повышение физической эффективности использования энергии. Эта деятельность может приводить и к снижению затрат на энергию – как правило, сокращение физических объемов потребляемой энергии приводит и к сокращению затрат. Однако существуют методы управления потреблением энергии (например, сокращение пикового потребления), направленные на «сдвиг» потребления в зону более низких тарифов и соответствующее снижение затрат, которое может быть не связано с сокращением физического потребления энергии. Такие подходы не рассматриваются в качестве методов повышения энергоэффективности в контексте Директивы КПКЗ.

Настоящий документ был разработан после подготовки первого издания остальных Справочных документов. Поэтому предполагается, что он будет использован в качестве справочного источника при пересмотре других Справочных документов.

Вопросы энергоэффективности, рассматриваемые в настоящем документе

Раздел	Вопрос
1	Введение и определения
1.1	Введение в проблематику энергоэффективности в контексте ЕС и настоящего документа
	Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды (подробнее обсуждаются в соответствующем Справочном документе)
1.2	Основные понятия, используемые при обсждении энергоэффективности, например, энергия, работа, мощность. Введение в законы термодинамики
1.3	Показатели энергоэффективности и их использование
	Важность определения единиц измерения, систем и их границ
	Другие значимые термины, например, первичная и вторичная энергия, теплота сгорания топлива и т.д.
1.4	Использование показателей энергоэффективности «сверху вниз», подход на уровне предприятия в целом и возможные проблемы
1.5	Подход к энергоэффективности «снизу вверх» и возможные проблемы
	Важность системного подхода к обеспечению энергоэффективности
	Значимые вопросы, связанные с определением энергоэффективности
2	Технологии, которые следует рассматривать для обеспечения энергоэффективности на уровне установки
	Важность анализа производств в целом, установления целей и планирования деятельности до инвестирования (дальнейших) ресурсов в деятельность по энергосбережению
2.1	Менеджмент энергоэффективности на основе специально создаваемых или существующих систем менеджмента
2.2	Планирование и определение целей и задач посредством: • постоянного улучшения экологической результативности • рассмотрения установки в целом и систем, входящих в ее состав
2.3	Рассмотрение вопросов энергоэффективности при проектировании строительства нового или модернизации существующего объекта, в т.ч.: • выбор энергоэффективных технологических процессов;
2.4	Повышение степени интеграции процессов, систем и предприятий с целью повышения эффективности использования энергии и сырья
2.5	Обеспечение поступательного развития инициатив в области энергоэффективности и поддержание мотивации в течении длительного времени
2.6	Поддержание и повышение квалификации персонала на всех уровнях для обеспечения энергоэффективности, как в области менеджмента энергоэффективности, так и в области технологических процессов и систем
2.7	Информирование об инициативах и результатах в сфере энергоэффективности, в т.ч.: • при помощи диаграмм Сэнки
2.8	Эффективный контроль производственных процессов с целью повышения энергоэффективности, минимизации брака и т.д. посредством: • автоматизированных систем управления технологическими процессами; • менеджмента качества (в т.ч. с использованием статистических методов контроля качества)
2.9	Важность планового технического обслуживания и оперативного внепланового устранения неисправностей, приводящих к потерям энергии, например, утечек пара и сжатого воздуха

2.10	Важность мониторинга и измерений, в т.ч. при помощи: • качественных методов • количественных методов, в т.ч. с использованием непосредственных измерений и усовершенствованных систем учета; • внедрения расходомеров нового поколения; • энергетических моделей, балансов и баз данных; • оптимизации использования энергоресурсов на основе усовершенствованных систем учета и программных средств
2.11	Энергоаудит как важное средство анализа энергопотребления, выявления возможностей для улучшения и мониторинга результатов предпринимаемых действий
2.12	Пинч-анализ как полезный инструмент в условиях одновременного наличия на предприятии холодных и горячих потоков, позволяющий выявить возможности для интеграции использования энергоресурсов
2.13	Анализ эксергии и энтальпии как полезные инструменты, позволяющие выявить избыточное энергопотребление и возможности энергосбережения
2.14	Термоэкономика, объединяющая методы термодинамического и экономического анализа, позволяет выявить возможности для сбережения энергии и сырья
2.15	Энергетические модели, в т.ч.: • использование моделей, баз данных и балансов; • оптимизация управления энергоресурсами на основе моделирования
2.16	Сравнительный анализ представляет собой крайне важный инструмент оценки результативности установки, процесса или системы посредством сравнения с уровнями энергопотребления и методами обеспечения энергоэффективности, характерными для других предприятий или подразделений данного предприятия
3	Технологии, которые следует рассматривать для обеспечения энергоэффективности на уровне систем и отдельных компонентов. В главе обсуждаются подходы к оптимизации систем, а также отдельных элементов, которые не были оптимизированы в рамках оптимизации соответствующей системы
3.1	Основные технологии сжигания топлива обсуждаются в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам. Так, где сжигание составляет существенную часть производственного процесса в отраслях КПКЗ (например, плавильные печи), технологии сжигания обсуждаются в соответствующих вертикальных справочных документах. В настоящем документе приводится краткая сводка информации, содержащейся в других Справочных документах, а также дополнительные сведения
3.2	Паровые системы
3.3	Утилизация тепла при помощи теплообменников и паровых насосов *Примечание: системы охлаждения обсуждаются в Справочном документе по промышленным системам охлаждения*
3.4	Основные методы когенерации, а также тригенерация и ее использование для централизованного теплоснабжения и холодоснабжения
3.5	Роль внешнего и внутреннего электроснабжения в обеспечении энергоэффективности
3.6	Общее обсуждение подсистем с электроприводом. Некоторые типы систем подробнее обсуждаются в следующих разделах (см. разделы 3.7 и 3.8)
3.7	Использование и оптимизация систем сжатого воздуха
3.8	Насосные системы и их оптимизация
3.9	Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ)
3.10	Системы освещения и их оптимизация
3.11	Процессы сушки, сепарации и концентрирования и их оптимизация
4	Выводы относительно НДТ обеспечения энергоэффективности
Приложения	Дополнительные примеры и информация

Связь настоящего документа с другими Справочными документами по наилучшим доступным технологиям

Настоящий документ содержит:

- «горизонтальные» (не ограниченные спецификой конкретной отрасли) рекомендации и выводы относительно общих НДТ обеспечения энергоэффективности для всех видов деятельности, перечисленных в Приложении I к Директиве;
- ссылки на другие Справочные документы, в которых подробно обсуждаются методы обеспечения эффективности, применимые и в условиях других отраслей, например:
    - Справочный документ по крупным топливосжигающим установкам, в котором описываются методы обеспечения энергоэффективности при сжигании топлива, и отмечается, что эти методы могут применяться в условиях топливосжигающих установок мощностью до 50 МВт;
    - Справочный документ по промышленным системам охлаждения;
- дополнительная информация по методам, описанным в других справочных документах, если предполагается, что такая информация может оказаться полезной (например, пинч-анализ уже описан в Справочных документах по тонкому органическому синтезу и производству специальных неорганических соединений).

Настоящий документ не содержит:

- информации, специфичной для отдельных отраслей, которым посвящены другие Справочные документы. Например:
    - энергоэффективность процессов, применяемых в крупнотоннажном производстве неорганических соединений, обсуждается в Справочном документе по крупнотоннажному производству аммиака, неорганических кислот и удобрений, а также Справочном документе по крупнотоннажному производству твердых неорганических веществ;
    - энергоэффективность процессов нанесения гальванического покрытия обсуждается в Справочном документе по обработке поверхностей металлов и пластмасс;
- НДТ, специфичных для конкретных отраслей.

Тем не менее, для сведения читателя в документ включены краткие сводки информации по отраслевым НДТ, приводимой в других Справочных документах [283, EIPPCB].

Поскольку настоящий документ содержит рекомендации общего характера, он может быть полезен и в условиях отраслей и предприятий, не подпадающих под действие Директивы КПКЗ.

Как использовать настоящий документ в сочетании с вертикальными (отраслевыми) Справочными документами

Для обеспечения оптимального использования всей доступной информации по (наилучшим доступным) технологиям в областях, охватываемых как вертикальными, так и горизонтальными Справочными документами (см. рис. 1), целесообразно придерживаться следующего порядка действий (в качестве примера используются вопросы энергоэффективности):

Шаг 1: используйте **вертикальный Справочный документ для соответствующей отрасли**

Выберите применимые методы и НДТ из вертикального Справочного документа для данной отрасли (например, отраслевые рекомендации по обеспечению энергоэффективности). Если документ содержит достаточную информацию, используйте сведения об НДТ и вспомогательные данные при подготовке разрешения.

Шаг 2: выявите, используйте и добавьте информацию, приводимую в **других вертикальных Справочных документах**, например, применимых к вспомогательным видам деятельности на предприятии

Другие вертикальные Справочные документы могут содержать описания методов и НДТ для тех видов деятельности на предприятии, которые не охвачены основным вертикальным Справочным документом.

Например, Справочный документ по крупным топливосжигающим установкам содержит описание НДТ и другие сведения по сжиганию топлива и использованию пара, которые могут быть использованы, в частности, для обеспечения энергоэффективности не только в теплоэнергетике, но и в других отраслях, где используются процессы сжигания топлива.

Техническая информация, приводимая в вертикальных Справочных документах, может использоваться в условиях других отраслей, например, если к отрасли применимо несколько Справочных документов (например, химическая промышленность, обработка поверхностей), или если оператор по собственной инициативе стремится получить дополнительную информацию о применимых методах и технологиях.

Шаг 3: выявите, используйте и добавьте информацию, приводимую в применимых горизонтальных Справочных руководствах

Для того, чтобы поддержать внедрение отраслевых НДТ технической информацией и методами общего характера, используйте горизонтальные Справочные руководства[4]. В состав установки могу входить системы и виды деятельности, не охваченные вертикальными документами.

В частности, Справочный документ по обеспечению энергоэффективности содержит методы и НДТ, применимые к:

- менеджменту энергоэффективности, включая соответствующие системы менеджмента, аудит, обучение персонала, мониторинг, контроль и техническое обслуживание;
- типичным энергопотребляющим системам, широко используемым на предприятиях различных отраслей, включая: паровые и насосные системы, системы утилизации тепла, когенерации, электроснабжения, сжатого воздуха, освещения, сушки, сепарации и концентрирования, а также системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ) и подсистемы с электроприводом.

[4] К числу т.н. горизонтальных Справочных документов относятся Справочные документы по обеспечению энергоэффективности (ENE), промышленным системам охлаждения (ICS), очистке сточных вод и отходящих газов в химической промышленности (CWW), экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды (ECM), общим принципам мониторинга (MON), а также выбросам и сбросам при хранении материалов (EFS)

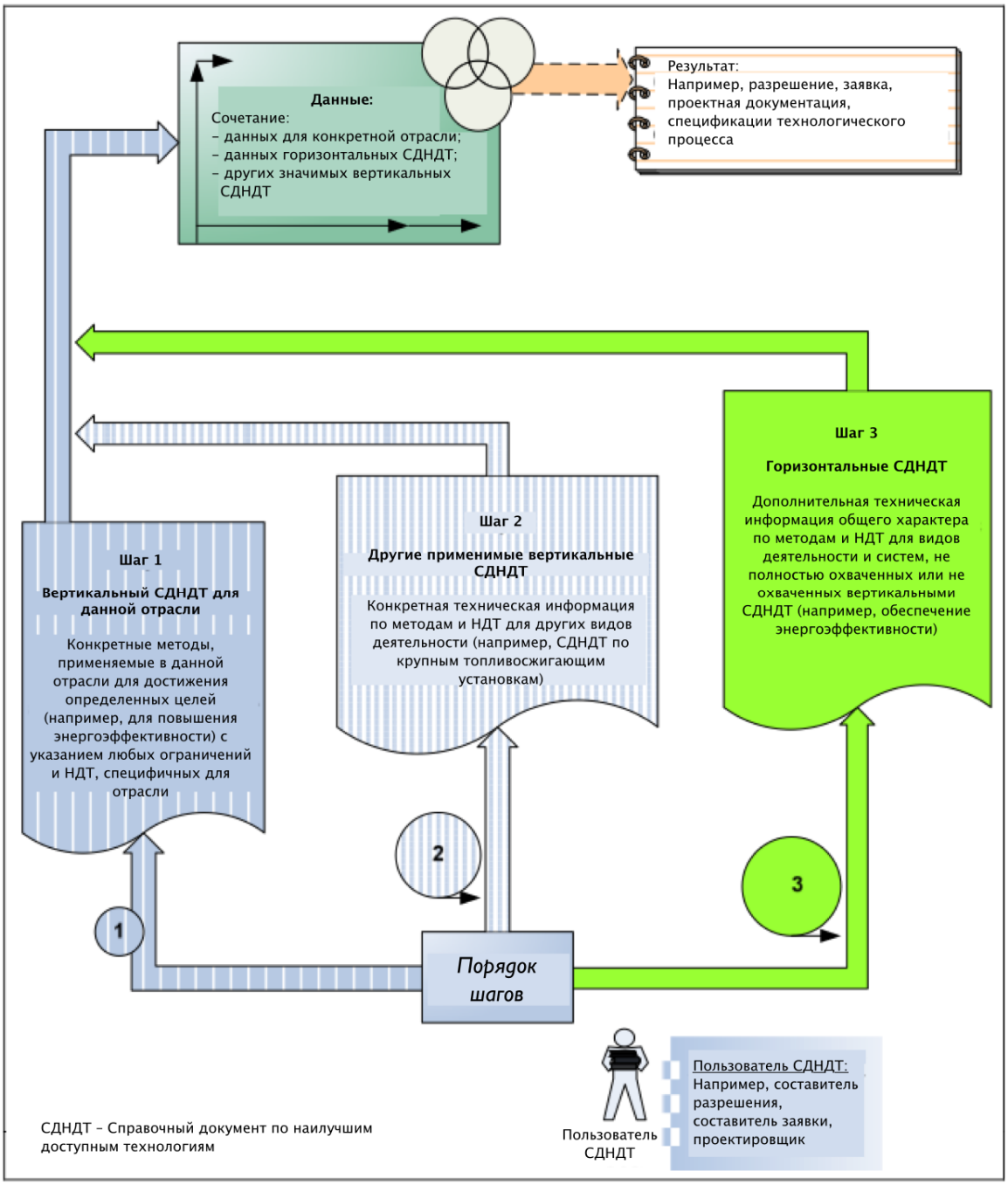


Рисунок 1: Совместное использование вертикальных (отраслевых) и горизонтальных Справочных документов

1. Введение и определения

[3, FEAD and Industry, 2005] [97, Kreith, 1997]
http://columbia.thefreedictionary.com/energy][TWG[127, TWG, , 145, EC, 2000]

1.1. Введение

1.1.1. Энергия в промышленном секторе ЕС

«Мы намерены совместно играть лидирующую роль в энергетической политике и охране климата, внеся свой вклад в предотвращение угрозы глобального изменения климата». Берлинская декларация (25 марта 2007 г.).

В 2004 г. потребление энергии в промышленности 25 стран ЕС (EU-25) достигло 319 млн. тнэ (тонн нефтяного эквивалента) или 11004 ПДж, что составляет около 28% ежегодного потребления конечных форм энергии в странах ЕС или 30% потребления первичной энергии[5]. 27% промышленного потребления первичной энергии приходится на теплоэнергетику, за которой следуют черная металлургия и химическая промышленность, потребляющие 19% и 18% первичной энергии соответственно. Следующие места занимают производство стекла, керамики и строительных материалов (13%), а также бумажная и печатная отрасль (11%). Около 25% электроэнергии, потребляемой промышленностью ЕС, производится самими предприятиями. В последнее время не наблюдается значительных изменений энергопотребления от года к году (например, между 2000 и 2004 гг.). Другие данные, отражающие энергопотребление отраслей КПКЗ, приведены на рис. 1.1.

По данным Европейского регистра выбросов загрязняющих веществ (EPER), на основные предприятия-загрязнители в отраслях КПКЗ приходится около 40% всех европейских выбросов CO_2, около 70% всех выбросов SOx и около 25% всех выбросов NOx [145, EC, 2000, 152, EC, 2003] [251, Eurostat].

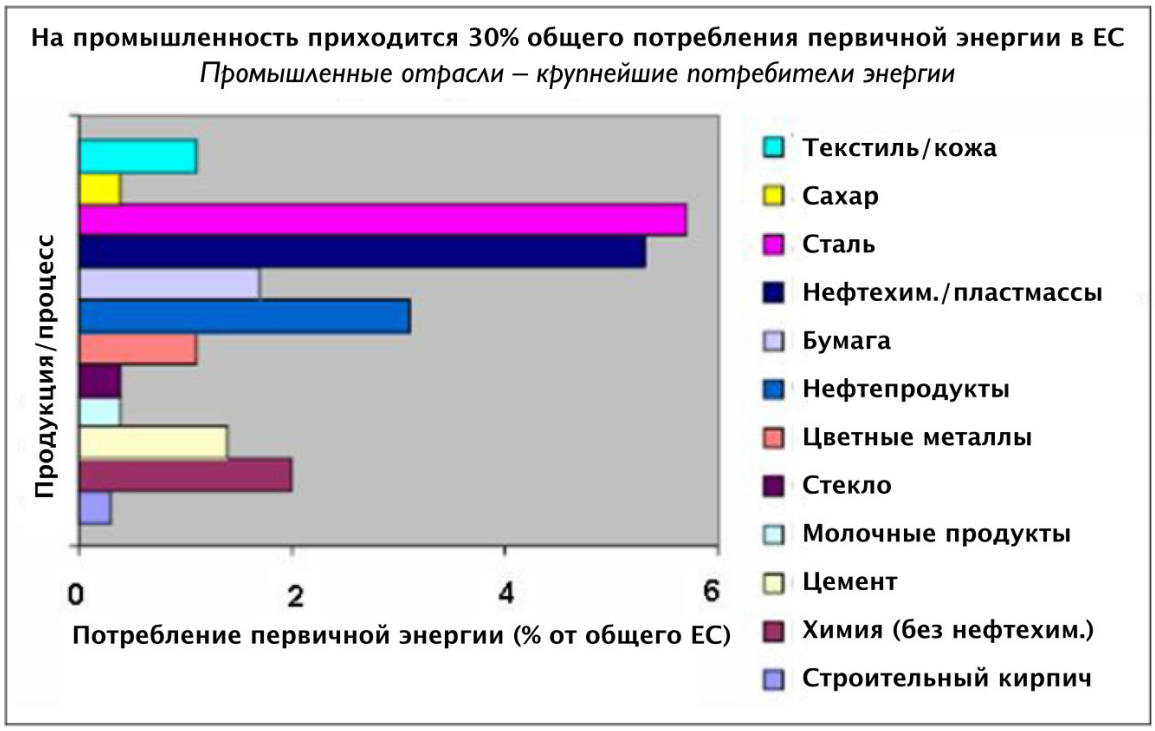


Рисунок 1.1: Доля отраслей перерабатывающей промышленности в потреблении первичной энергии в странах ЕС

[145, EC, 2000]

[5] Понятия первичной, вторичной и конечной энергии разъясняются в разделе 1.3.6.1.

1.1.2. Воздействия энергопотребления на окружающую среду и экономику

Глобальное потепление

Некоторые газы вносят вклад в повышение температуры у поверхности Земли, поглощая тепловое излучение планеты и переизлучая его на больших длинах волн. Часть переизлученной энергии поглощается поверхностью Земли и атмосферой, приводя к повышению их температуры. Это явление получило название «парникового эффекта». К основным парниковым газам относятся водяной пар, диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), озон (O_3) и другие газы, в частности, диоксид азота (N_2O). Парниковый эффект является естественным явлением, вносящим вклад в поддержание теплового баланса планеты и обеспечение благоприятных условий для функционирования экосистем Земли.

Однако деятельность человека привела к тому, что концентрация в атмосфере диоксида углерода, основного антропогенного парникового газа, увеличилась на 34% по сравнению с периодом до начала интенсивного промышленного развития, причем рост концентрации особенно ускорился после 1950 г. Концентрации других парниковых газов также значительно выросли в результате антропогенной деятельности. Основным источником антропогенного CO_2 является сжигание ископаемого топлива в промышленности (в т.ч. в теплоэнергетике), в домохозяйствах и на транспорте. Другими значимыми источниками являются выбросы CO_2 и CH_4 в результате сельскохозяйственной деятельности и изменений в режиме землепользования, а также выбросы других антропогенных парниковых газов в результате различных производственных и других процессов.

Наблюдаемые в настоящее время концентрации CO_2 и CH_4 в атмосфере являются самыми высокими за последние 420 тыс. лет, а концентрации N_2O – как минимум, за последние 1000 лет. Согласно базовому сценарию[6] МГЭИК (2001), в течение нескольких ближайших десятилетий (до 2050 г.) концентрация парниковых газов в атмосфере с большой вероятностью превысит уровень 550 ppm CO_2-эквивалента (см. рис. 1.2) [252, EEA, 2005]. Согласно базовому сценарию, подготовленному в 2006 г., к 2050 г. выбросы парниковых газов превысят текущий уровень почти в два с половиной раза [259, IEA, 2006].

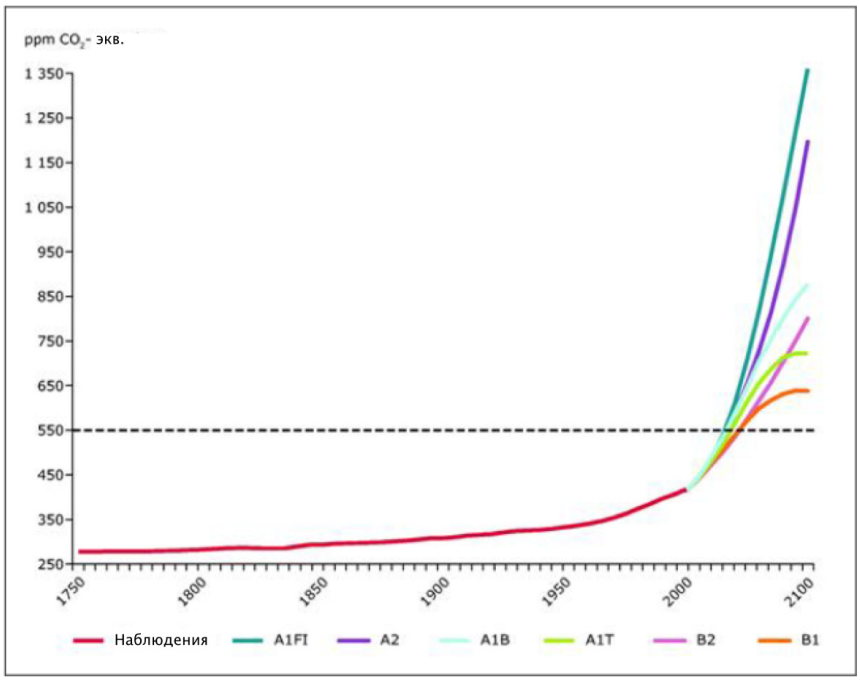


Рисунок 1.2: Рост концентрации парниковых газов в атмосфере с 1750 г. при различных сценариях (ppm CO_2-эквивалента)

[252, EEA, 2005]

[6] Базовый сценарий предполагает сохранение существующих тенденций без принятия решительных мер по ограничению выбросов парниковых газов. (*Прим. пер.*)

В настоящее время широко признается, что рост концентрации парниковых газов в атмосфере и связанное с этим глобальное потепление будут иметь масштабные последствия для окружающей среды, условий жизни человека и экономики (см. различные доклады МГЭИК и другие источники) [262, UK_Treasury]. Хотя подробная информация о возможных последствиях для стран ЕС ограничена, ожидается, что изменение климата приведет разнообразным последствиям для окружающей среды и экономики. Количественная оценка общего эффекта для экономики в настоящее время затруднительна, однако ясно, что разные страны ЕС пострадают от изменения климата в различной степени, причем наиболее уязвимыми являются страны Средиземноморья и Юго-Восточной Европы [252, EEA, 2005].

Зависимость от ископаемого топлива и энергетическая безопасность

В 2001 г. структура энергопотребления ЕС сохраняла существенную зависимость от ископаемого топлива (79% общего внутреннего потребления), в т.ч. импорта нефти и газа, обеспечивавшего значительную часть потребляемых энергоносителей. В настоящее время ЕС импортирует более 50% потребляемых энергоресурсов, и ожидается, что в течение ближайших 20–30 лет эта доля превысит 70% [145, EC, 2000].

1.1.3. Вклад энергоэффективности в сокращение эффектов глобального потепления и повышение устойчивости

Согласно одному из многочисленных исследований в данной области [145, EC, 2000], ЕС способен экономически эффективным образом снизить свое энергопотребление на 20% по сравнению с нынешнем уровнем, что соответствует 60 млрд. евро/год в денежном исчислении или совокупному энергопотреблению Германии и Финляндии в 2000 г. [140, EC, 2005]. В исследовании также отмечется, что энергосбережение, несомненно, является наиболее быстрым, действенным и экономически эффективным способом сокращения выбросов парниковых газов и улучшения качества воздуха. Энергоэффективность является также важным фактором рационального использования природных ресурсов (в данном случае, энергоресурсов) и устойчивого развития, и способна сыграть значительную роль в снижении зависимости европейской экономики от этих ресурсов. Хотя масштабные инициативы по повышению энергоэффективности требуют значительных инвестиций, их реализация способна внести значительный вклад в достижение целей Лиссабонской стратегии, способствуя созданию миллионов новых рабочих мест и повышению конкурентоспособности европейской экономики [145, EC, 2000, 152, EC, 2003]. Исходя из этого, ЕС объявил о принятии Плана действий в области энергоэффективности, призванного обеспечить экономию до 20% энергии, потребляемой в странах Союза (около 39 млн. тнэ), и 27% энергии, потребляемой обрабатывающими отраслями промышленности, к 2020 г. Это позволит снизить ежегодные прямые затраты на энергопотребление в странах ЕС на 100 млрд. евро и сократить ежегодные выбросы CO_2 на 780 млн. т к 2020 г. [142, EC, 2007].

Многие отрасли за последние 20 лет добились существенного повышения энергоэффективности. Основными рыночными мотивами предприятий являются повышение производительности и качества продукции, снижение затрат и выход на новые рынки. Законодательство ЕС в области энергоэффективности было принято относительно недавно (см. Предисловие), хотя к этому времени в некоторых странах ЕС уже действовали национальные нормативные акты в данной области. В большинстве случаев соответствующая деятельность осуществлялась предприятиями на добровольной основе и была направлена на снижение затрат, хотя инициативы ЕС и отдельных государств-членов тоже внесли вклад в этот процесс (см. Предисловие и Приложение 7.13). Например, химическая промышленность является одним из крупнейших потребителей природного газа среди обрабатывающих отраслей ЕС, а на приобретение или производство энергии приходится до 60% производственных затрат в отрасли. Тем не менее, отрасль добилась снижения удельного энергопотребления на 55% за период с 1975 по 2003 гг.

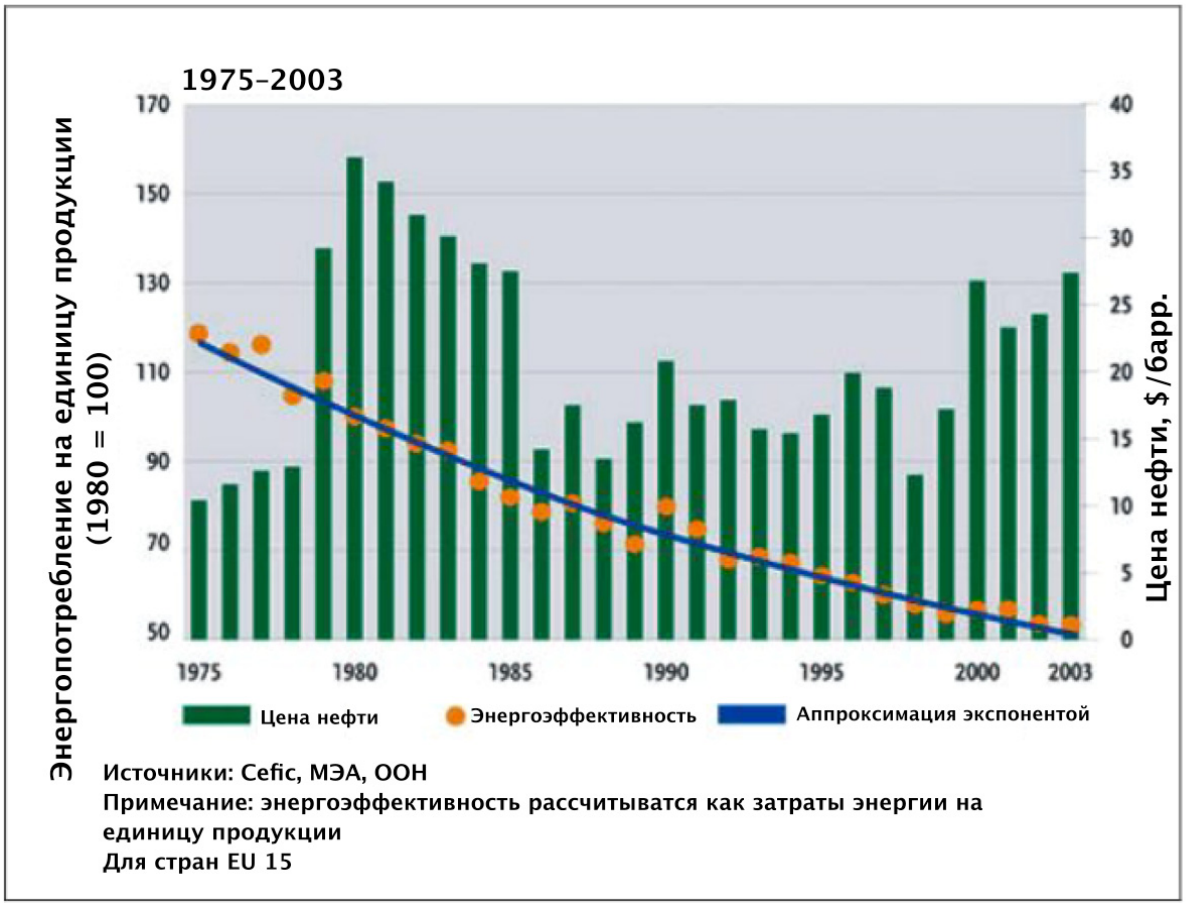


Рисунок 1.3: Энергопотребление в химической промышленности, 1975-2003 гг.

Несмотря на достигнутые результаты, дальнейшее повышение энергоэффективности остается важнейшей задачей, стоящей перед европейской промышленностью. Согласно прогнозам, выбросы парниковых газов, связанные с производством энергии, к 2050 г. могут быть возвращены на уровень 2006 г., а рост потребления нефти может быть ограничен на основе технологий, доступных в настоящее время, главным образом, за счет повышения энергоэффективности (еще одним перспективным направлением является расширение использования электроэнергии вместо ископаемого топлива, в т.ч. на транспорте). Повышение энергоэффективности является приоритетным направлением деятельности по обеспечению будущего, более устойчивого с энергетической точки зрения, и во многих случаях представляет собой наиболее дешевый, быстрый и экологически приемлемый подход к сокращению выбросов и ограничению растущих потребностей в энергоресурсах. Согласно сценариям, разработанным в 2006 г., повышение энергоэффективности в жилищно-коммунальном, промышленном и транспортном секторах обеспечит сокращение энергопотребления на 17–33% по сравнению с базовым сценарием к 2050 г. В зависимости от конкретного сценария, повышение энергоэффективности обеспечивает от 45 до 53% общего сокращения выбросов CO_2 по сравнению с базовым сценарием к 2050 г. В сценарии, предусматривающем глобальное повышение энергоэффективности лишь на 20% к 2050 г., прирост мировых выбросов CO_2 оказывается более чем на 20% выше, чем в других сценариях [259, IEA, 2006].

1.1.4. Энергоэффективность и Директива КПКЗ

Правовые рамки деятельности по повышению энергоэффективности и подготовки настоящего Справочного документа охарактеризованы в Предисловии и разделе «Область применения». Органы, выдающие разрешение, и компании-операторы должны быть знакомы со смыслом понятия энергоэффективности, а также возможными путями ее повышения, измерения и оценки для того, чтобы понимать, каким образом соображения энергоэффективности могут быть учтены при формировании разрешения.

Промышленные объекты, подпадающие под действие Директивы КПКЗ, перечислены в Приложении 1 к Директиве. В качестве примеров предприятий или производственных единиц, на которые распространяется действие Директивы, можно привести следующие:

- для газовой теплоэлектростанции входным потоком является природный газ, а основным выходным потоком – электроэнергия, которая производится на основе химической энергии газа. Наряду с электричеством, одним из выходных потоков является низкопотенциальное тепло, которое, как правило, отводится в окружающую среду в процессе охлаждения. Полезное применение этого тепла (например, в системе централизованного теплоснабжения) способно повысить общую энергоэффективность производства;

- сырьем для нефтеперерабатывающего завода является сырая нефть, на основе которой производятся бензин, дизельное топливо, мазут и рад других продуктов. В ходе производственного процесса часть углеводородов сжигается с целью получения энергии, необходимой для осуществления технологических процессов. Кроме того, нефтеперерабатывающие заводы, как правило, получают электроэнергию из внешних источников. Однако предприятие, на котором установлена когенерационная станция, может быть нетто-поставщиком электроэнергии;

- установка парового крекинга получает в качестве сырья жидкие и газообразные продукты нефтепереработки, преобразуя их в этилен, пропилен и ряд побочных продуктов. Часть необходимой для этого энергии может производиться на самой установке, а остальная энергия поставляется из вешних источников в форме пара, электроэнергии и топлива;

- исходным материалом для прокатки могут служить, например, стальные слябы толщиной около 200 мм, прокатываемые в рулонную сталь толщиной несколько миллиметров. Прокатное производство включает в себя печи, оборудование прокатных станов, системы охлаждения и различные вспомогательные системы;

- мусоросжигательный завод (на севере Европы) перерабатывает 150 тыс. т отходов в год – объем бытовых отходов полумиллионного населения, остающийся после рециклирования и биологической переработки части отходов. МСЗ способен производить 60 тыс. МВт·ч электроэнергии в год, из которых 15 тыс. МВт·ч используется на самом предприятии, а 45 тыс. МВт•ч поставляется в распределительные сети. Эта величина соответствует бытовому энергопотреблению 60 тыс. чел. Там, где имеются также потребности в тепловой энергии, МСЗ может работать в режиме когенерации (комбинированного производства электрической и тепловой энергии): пар высокого давления используется для производства электроэнергии, после чего отработанный пар используется в системах централизованного теплоснабжения или холодоснабжения, или поставляется промышленным потребителям. Производство тепла характеризуется более высоким КПД, чем производство электроэнергии; увеличение производства тепла для внешних потребителей приводит к сокращению производства электроэнергии. При наличии достаточного спроса на тепловую энергию предприятие может быть рассчитано только на производство тепла. Соотношение производимой электрической и тепловой энергии зависит от местных потребностей и других условий, в т.ч. положений контракта;

- предприятие интенсивного производства (птицефабрика) рассчитано на 40 тыс. бройлеров, которые откармливаются до требуемого веса забоя в течение 5–8 недель. Предприятие потребляет энергию для кормового и поильного оборудования, освещения, удаления помета и подстилочного материала, а также вентиляции/отопления/охлаждения. Помет, как правило, используется в качестве удобрения, но может использоваться и для производства биогаза на предприятии или за его пределами. Биогаз может использоваться для отопления помещений птицефабрики;

- типография высококачественной печати имеет пять печатных машин с 40 красочными аппаратами, используемых для печати журналов и каталогов высокого качества. Типография использует электроэнергию для приведения в действие печатных станков, а также пневматических и гидравлических систем, используемых в процессе печати,

природный газ для сушки, а также пар, применяемый для регенерации толуола (в системе очистки выбросов).

В состав любых предприятий (установок) КПКЗ входят вспомогательные производства, системы или службы, также потребляющие энергию, например, гидравлические или смазочные системы, системы сжатого воздуха, вентиляции, отопления, охлаждения, а также отдельные компоненты, входящие в состав этих систем – насосы, вентиляторы, моторы и т.д. Ремонтные цеха, рабочие места, бытовые, офисные, складские и другие помещения также нуждаются в отоплении или охлаждении, горячем водоснабжении, освещении и т.д.

1.1.5. Место энергоэффективности в системе комплексного предотвращения и контроля загрязнения

Методы повышения энергоэффективности описаны в разнообразных источниках, доступных на многих языках. В настоящем документе рассматриваются основные понятия и подходы, значимые в контексте комплексного предотвращения и контроля загрязнения (предотвращения и сокращения) на уровне установки[7] в целом. Данные информационного обмена и другие источники показывают, что, хотя повышение энергоэффективности на уровне отдельных компонентов и применение отдельных методов способно обеспечить некоторое энергосбережение, существенное повышение энергоэффективности требует комплексной оптимизации предприятия в целом и систем, входящих в его состав. Например, замена электродвигателей в системе сжатого воздуха может обеспечить снижение энергопотребление на 2%, тогда как реорганизация всей системы на основе комплексного анализа способна обеспечить энергосбережение в объеме до 37% (см. раздел 3.7). Приоритет, отдаваемый повышению энергоэффективности отдельных компонентов, может привести к слишком узкому взгляду на проблемы энергоэффективности. В некоторых случаях направление финансовых и других ресурсов на частные мероприятия приводит к отвлечению этих ресурсов от реализации комплексных решений, которые могли бы обеспечить значительно большее повышение энергоэффективности.

Аналогичным образом, в некоторых случаях меры по повышению энергоэффективности на уровне отдельных компонентов или систем могут сопровождаться сохранением существующих или возникновением новых негативных воздействий на окружающую среду. В качестве примера можно привести предприятие, на котором осуществляется обработка поверхностей с использованием органических растворителей. На таком предприятии используемые электродвигатели могут быть заменены более эффективными; более того, вся система очистки отходящих газов и регенерации паров растворителя может быть оптимизирована с точки зрения ее энергопотребления. Однако значительные экологические преимущества могли бы быть достигнуты за счет изменения основного процесса или некоторых его частей таким образом, который позволил бы свести к минимуму использование растворителей или полностью исключить его (если это технически возможно). В этом случае энергопотребление основного процесса могло бы повыситься по сравнению с исходным уровнем, однако значительное энергосбережение было бы достигнуто за счет отсутствия необходимости в системе очистки отходящих газов и регенерации растворителей. Кроме того, это привело бы к снижению выбросов паров растворителя в окружающую среду (см. раздел 2.2.1 и Справочный документ по обработке поверхностей с использованием растворителей).

Структура документа

Структура настоящего документа описана в разделе «Область применения».

Технический материал, приводимый в этой и следующих главах, как правило, носит вводный характер и адресован читателю, который не является профессиональным экспертом в соответствующих вопросах энергетики и энергоэффективности. Дополнительная информация научно-технического характера (а также соответствующие формулы) может быть найдена в Приложении 7.1, а также стандартных учебниках и справочниках по термодинамике.

[7] О значении термина «установка» в контексте Директивы КПКЗ см. примечание к разделу 6 Предисловия. (*Прим. пер.*)

1.1.6. Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Энергия представляет собой такой же ресурс для производства, как и другие виды ценного сырья. Ее использование связано с затратами и воздействием на окружающую среду; эффективное управление использованием энергии является важным фактором повышения рентабельности и конкурентоспособности бизнеса, а также смягчения негативных эффектов для окружающей среды.

Вопросам повышения энергоэффективности уделяется важное место в политических документах ЕС (так, необходимость ее повышения является единственной экологической проблемой, упомянутой в Берлинской декларации [141, EU, 2007]). В процессе анализа экономических и экологических аспектов внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в пределах установки следует учитывать значимость энергоэффективности в контексте требований статьи 9(4) относительно предельных величин выбросов и других эквивалентных параметров.

Как отмечается в документах Европейской Комиссии, можно ожидать, что интеграция НДТ в производственный процесс в целом окажет положительное или более или менее нейтральное воздействие на рентабельность предприятий[8]. Несомненно, внедрение отдельных НДТ может не оказаться экономически эффективным, однако связанные с этим выгоды для общества перевешивают затраты, что соответствует принципу «загрязнитель платит».

Определение НДТ требует соотнесения общих затрат на внедрение рассматриваемой технологии с соответствующими экологическими преимуществами. Второй тест экономического характера предусматривает проверку того, является ли применение технологии в определенной отрасли экономически жизнеспособным. При этом экономическая жизнеспособность для отрасли должна оцениваться на общеевропейском уровне[9] [152, EC, 2003].

Преимуществом деятельности по повышению энергоэффективности является то, что меры, направленные на сокращение воздействия на окружающую среду, как правило, обеспечивают и финансовую отдачу за счет энергосбережения. Если для конкретных технологий и методов сообщались данные по выгодам и затратам, они приводятся в последующих главах (или соответствующих отраслевых Справочных документах). Эти данные могут использоваться при принятии решений о внедрении тех или иных технологий. В случае внедрения технологий на существующих предприятиях должна быть проанализирована экономическая и техническая возможность соответствующей модернизации. Даже решение единственной задачи обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды как целого во многих случаях требует достижения компромисса между различными видами воздействия, и соответствующие решения часто учитывают местную специфику (как отмечено в Предисловии). Например, в некоторых случаях реализация КПКЗ может привести к увеличению энергопотребления с целью снижения других негативных воздействий на окружающую среду (например, установка систем газоочистки с целью сокращения выбросов приводит к увеличению энергопотребления).

Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды рассматриваются в соответствующем Справочном документе (ECM BREF). В частности, в документе рассматриваются подходы к сопоставлению различных видов воздействия на окружающую среду, а также оценке выгод и затрат. В ходе информационного обмена были выявлены следующие практические примеры, которые могут оказаться полезными:

- в некоторых государствах ЕС технология считается экономически жизнеспособной, если период окупаемости инвестиций не превышает 5–7 лет, т.е. доход на инвестиции

[8] Как отмечается в документе COM(2003) 354 final, «меры на конце трубы» часто оказывают краткосрочное негативное влияние на рентабельность производства. Однако в сфере энергоэффективности не существует таких мер в буквальном смысле слова; ближайшим аналогом является простая замены отдельных компонентов оборудования, например, электродвигателей. Меры подобного рода могут оказаться неоптимальными с экологической и/или экономической точки зрения. См. раздел 1.5.1

[9] Определение «отрасли» в данном контексте подразумевает достаточный уровень специализации для учета специфики технологических процессов. Например, для целей КПКЗ в качестве отдельной отрасли может рассматриваться производство хлора и каустической соды, а не химическая промышленность в целом.

составляет около 15% или более (в разных странах и регионах используются различные ориентировочные значения) [249, TWG, 2007];

- в сфере энергоэффективности для многих технологий целесообразной является оценка затрат и выгод на протяжении всего жизненного цикла. Например, для электродвигателя начальные затраты на приобретение составляют 2,5% общих затрат за весь срок службы, затраты на техническое обслуживание – 1,5 %, а затраты на приобретение потребляемой энергии – 96% общих затрат;
- одно из государств ЕС опубликовало получивший международное признание доклад о важности смягчения изменения климата и экономических аспектах этого смягчения. Для оценки потенциального экономического ущерба от изменения климата в докладе использовалась величина 70 британских фунтов за тонну углерода (100 евро/т) в 2000 г. и уровень инфляции 1 фунт за тонну в год (1,436 евро/т в год) (в пересчете на CO_2 – 19 фунтов за тонну (27,28 евро/т) и годовой уровень инфляции 0,27 фунтов за тонну (0,39 евро/т)). (Использован обменный курс на 1 апреля 2006 г.: 1 фунт = 1,436 евро). Эти величины могут быть использованы для оценки и сравнения экстерналий и издержек для общества, связанных с различными вариантами мероприятий [262, UK_Treasury, 2006]

http://www.hm-treasury.gov.uk/documents/taxation_work_and_welfare/taxation_and_the_environment/tax_env_GESWP140.cfm

- в недавно опубликованном международном докладе показано, что выбросы CO_2 могут быть возвращены к нынешнему уровню в будущем (поддерживаться на нынешнем уровне) с использованием технологий, доступных в настоящее время, включая методы повышения энергоэффективности. Для целей стимулирования этого процесса было предложено установить цену 25 долл. США (20,68 евро) за тонну выброшенного CO_2, что добавило бы около двух центов (1,7 евроцентов) за кВт·ч к стоимости электроэнергии, произведенной на основе сжигания угля, и около 7 центов (5,8 евроцентов) за литр к стоимости бензина. При этом средняя стоимость сокращения выбросов CO_2 на одну тонну на основе рассматриваемого портфеля технологий (после полной коммерциализации всех технологий) составит меньше 25 долл. (20,68 евро) Эта величина меньше, чем стоимость тонны CO_2 в европейской системе торговли выбросами на ранних этапах функционирования системы. (Использовался обменный курс по состоянию на апрель 2006 г.: 1 доллар = 0,827 евро) [259, IEA, 2006]

Калькуляторы для расчета энергосбережения

Существуют различные программные калькуляторы, разработанные для расчета энергосбережения в результате тех или иных мероприятий, в т.ч. доступные через Интернет. Эти калькуляторы могут быть полезным вспомогательным инструментом, однако при их использовании следует иметь в виду некоторые ограничения:

- многие калькуляторы подразумевают замену отдельных компонентов оборудования, например, двигателей, насосов или осветительных устройств, без анализа и реорганизации системы в целом. Такой подход может быть неоптимальным с точки зрения достижения максимальной энергоэффективности системы и установки (см. разделы 1.3.5 и 1.5.1.1)
- некоторые калькуляторы разработаны независимыми организациями, например, государственными агентствами, однако некоторые другие разработаны заинтересованными сторонами, например, компаниями, производящими соответствующее оборудование, что может влиять на качество оценок.

Примеры калькуляторов могут быть найдены в главе 2.17, а также по следующим адресам в Интернете:

- http://www.energystar.gov/ia/business/cfo_calculator.xls
- http://www.martindalecenter.com/Calculators1A_4_Util.html

1.2. Понятие энергии и законы термодинамики

[2, Valero-Capilla, 2005, 3, FEAD and Industry, 2005, 97, Kreith, 1997, 154, Columbia_Encyclopedia, , 227, TWG]

Будучи одним из базовых понятий физики, энергия с трудом поддается формальному определению. Наиболее корректное определение энергии может быть дано в математических терминах, в виде формул, связывающих энергию с другими физическими величинами. В повседневном словоупотреблении под энергией понимается способность к выполнению определенной работы (или к тому, чтобы произвести какие-либо изменения). Термодинамика представляет собой раздел физики, посвященный изучению энергии и законов ее преобразования, важнейшие из которых известны как законы термодинамики. Некоторое знакомство с принципами термодинамики необходимо для понимания проблем, связанных с использованием энергии в производстве, и вопросов энергоэффективности. Целью настоящего раздела является простое введение в значимые с этой точки зрения концепции термодинамики с минимальным использованием математики. Как следствие, изложение в настоящем разделе не претендует на научную строгость; более корректное введение приведено в приложении 7.1 [269, Valero, 2007]. Более подробное изложение термодинамики содержится в стандартных учебниках (см., например, ссылки, приведенные в приложении 7.1.4.1).

1.2.1. Энергия, теплота, мощность и работа

Энергия является характеристикой той или иной «системы», а изменение энергии представляет собой меру изменения состояния системы. В системе СИ единицей измерения энергии является джоуль. Энергия может принимать различные формы, связанные с действием тех или иных физических сил и работой, совершаемой ими. Как правило, формы энергии получают название от соответствующих сил или физических явлений. Особенно значимыми для промышленного производства являются следующие шесть основных форм энергии:

(i) **Химическая энергия** связана с действием сил, удерживающих атомы или ионы в составе молекул, и может рассматриваться как энергия химических связей. Для промышленности особенно значима химическая энергия углеродосодержащего топлива, которая высвобождается в процессе химических реакций (как правило, реакций окисления, которые протекают в форме горения и сопровождаются выделением диоксида углерода). Выделяющаяся при этом энергия обычно преобразуется в такие формы, более удобные для практического применения, как механическая энергия (например, в двигателе внутреннего сгорания) или тепловая энергия (например, при сжигании топлива с целью непосредственного подведения теплоты к технологическому процессу).

(ii) **Механическая энергия** связана с движением (например, движением поршня при расширении продуктов сгорания в ДВС) и может непосредственно использоваться для приведения в действие машин и механизмов, например, автомобилей или станков. Механическая энергия, в частности, широко используется для приведения в действие генераторов, преобразующих ее в электрическую энергию. Разновидностями механической энергии являются, в частности, энергия волн и энергия приливов.

(iii) **Тепловая энергия** связана с хаотическим движением (микроскопических) частиц материи. Она может рассматриваться как внутренняя энергия тела (точнее, одна из составляющих внутренней энергии). В качестве синонима «тепловой энергии» часто употребляется понятие «теплота». Следует, однако, заметить, что в строгом смысле количество теплоты как физическая величина представляет собой меру передачи тепловой энергии от одной системы (тела) к другой. Тепловая энергия может выделяться в ходе химических реакций (например, горения), ядерных реакций, вследствие электрического сопротивления или рассеяния (диссипации) механической энергии, например, в результате трения.

(iv) **Электрическая энергия** отражает способность электрических сил к совершению работы при изменении относительного положения электрических зарядов (например, при протекании электрического тока в цепи). Эта форма энергии тесно связана с **магнитной энергией** (магнитные силы возникают, в частности, при движении электрических зарядов); вместе они могут

рассматриваться как единая энергия электромагнитного поля. **Световая энергия** является одним из видов энергии электромагнитного поля (электромагнитного излучения).

(v) **Гравитационная энергия** представляет собой способность гравитационных сил к совершению работы при изменении относительного положения материальных тел. Хотя эта форма энергии может применяться в промышленности (например, при спуске материалов по желобу), ее значение для повышения энергоэффективности не очень велико и сводится к корректному учету этой формы пи некоторых вычислениях. Как правило, лифты и насосы, предназначенные для подъема твердых тел и жидкостей, приводятся в действие двигателями, использующими электрическую энергию.

(vi) **Ядерная энергия** связана с силами, действующими в атомном ядре, и может выделяться при делении или слиянии ядер. Электростанции, использующие атомную энергию, не подпадают под действие КПКЗ, и вопросы, связанные с ее использованием, не рассматриваются в настоящем документе. Однако электроэнергия, производимая на АЭС, образует часть европейского энергетического баланса (см. Приложение 7.16).

Потенциальная и кинетическая энергия

Многие формы энергии, перечисленные выше, могут рассматриваться как разновидности потенциальной энергии, т.е. энергии, «запасенной» тем или иным образом, например, в форме химических связей стабильного вещества или энергии ядра радиоактивного вещества. Гравитационная потенциальная энергия (к которой чаще всего применяется это понятие), «запасается» в форме относительного положения материальных тел (например, при накоплении воды в водохранилище). Кинетическая энергия представляет собой энергию движения материальных тел. Классическим примером взаимосвязи между кинетической и потенциальной энергией является маятник, потенциальная энергия которого достигает максимума в верхней точке его траектории, а кинетическая – в нижней. Как видно из этого простого примера, энергия может переходить из одной формы в другую. Большинство фундаментальных взаимодействий, имеющих место в природе, связаны с той или иной формой потенциальной энергии, хотя применение этой классификации к некоторым формам энергии (например, к световой) затруднительно.

Количество теплоты и работа

Количество теплоты (Q) может быть определено как мера энергии, переданной от одного тела к другому вследствие разницы температур между ними. В результате какого-либо процесса энергия может быть передана системе либо посредством совершения работы, либо за счет передачи теплоты. Теплопередача может происходить только в направлении уменьшения температуры. Теплота может передаваться одним из трех способов:

(i) теплопроводность представляет собой передачу энергии между структурными частицами вещества в процессе их теплового движения. Теплопроводность может иметь место в твердых, жидких и газообразных веществах;

(ii) конвекция представляет собой перенос теплоты потоками движущегося жидкого или газообразного вещества. Теплота, перенесенная за счет конвекции, может затем передаваться твердым телам, температура которых отличается от температуры теплоносителя (жидкости или газа);

(iii) тепловое излучение представляет собой электромагнитное изучение, испускаемое веществом за счет его внутренней энергии (теплового движения атомов и молекул). Перенос энергии электромагнитными волнами не требует каких-либо промежуточных сред и может происходить даже в вакууме.

Работа (W) определяется в термодинамике как количество энергии, переданной или полученной системой за счет изменения ее внешних параметров. Исторически эквивалентом механической работы, представляющей собой меру действия силы на систему, служила энергия, необходимая для подъема груза определенной массы на определенную высоту.

Энергия и мощность

В повседневном употреблении в английском языке понятия «энергия» (‘energy’) и «мощность» (‘power’) часто смешиваются и используются как взаимозаменяемые. Однако в науке и инженерном деле значения этих понятий различаются. Мощность представляет собой изменение энергии в единицу времени (скорость изменения энергии) или работу, совершаемую в единицу времени. В системе СИ единицей мощности (и лучистого потока) является ватт (Вт), а единицей энергии, работы и количества теплоты является джоуль (Дж). Один ватт равен джоулю в секунду.

Поэтому некорректно говорить, например, о мощности, потребленной или переданной за определенный период времени – за определенный период времени может быть потреблено или передано некоторое количество энергии.

С точки зрения большинства практических применений, количество энергии, соответствующее одному джоулю, является очень малым. Поэтому при обсуждении промышленного производства энергии, а также потребления энергии оборудованием, системами и установками (и, как следствие, вопросов энергоэффективности в промышленности) обычно используются кратные единицы – килоджоуль (кДж), мегаджоуль (МДж) и гигаджоуль (ГДж).

Основной единицей измерения производимой, потребляемой или передаваемой мощности является ватт. Однако, как и в случае с энергией, при обсуждении практических вопросов чаще используются кратные единицы мощности – киловатт (кВ), мегаватт (МВт) и гигаватт (ГВт)[10].

Некорректными являются выражения вида «мощность устройства составляет 100 ватт в час», поскольку ватт как единица мощности уже «содержит в себе» отнесение работы или энергии к периоду времени. Поэтому ватт и другие единицы мощности не должны сопровождаться отнесением к единице времени («в секунду», «в час» и т.п.), за исключением случаев, когда речь идет о приросте или снижении мощности с течением времени (подобно тому, как ускорение движения отражает «скорость» прироста или снижения скорости). В качестве внесистемной единицы энергии используется также ватт-час. В силу описанных выше причин на практике энергетическими компаниями и потребителями энергии чаще используются кратные единицы – киловатт-час (кВт•ч), мегаватт-час (МВт•ч) и гигаватт-час (ГВт•ч)[11]. Один киловатт-час равен количеству энергии, используемому за один час при мощности один киловатт, и составляет 3,6 МДж. Использование внесистемной единицы, киловатт-часа, вместо мегаджоуля обусловлено, по всей видимости, историческими причинами и характерно для определенных отраслей и применений[12].

Другие единицы, используемые на практике, включают мегаватт электрической мощности ($МВт_э$) и мегаватт тепловой мощности ($МВт_т$). Это внесистемные единицы, применение которых не является необходимым с теоретической точки зрения (Международное бюро мер и весов, МБМВ, считает их использование некорректным). Однако они применяются на практике, в особенности на предприятиях где производятся и/или используются оба вида энергии, например, на электростанциях или химических производствах, и важно избежать смешения этих видов при расчетах или в отчетности.

---

[10] Мощность, потребляемая процессором Pentium 4, составляет около 82 Вт. Человек, занятый тяжелым физическим трудом, развивает мощность около 500 Вт. Характерная механическая мощность автомобиля составляет 40–200 кВт. Современный дизель-электрический локомотив развивает механическую мощность около 3 МВт.

[11] Производство энергии на крупных электростанциях и энергопотребление крупных предприятий часто выражается в гигаватт-часах (ГВт·ч). Эта единица, равная миллиону киловатт-часов, используется потому, что мегаватт-час является слишком малой единицей для этих целей.

[12] Один киловатт-час эквивалентен количеству энергии, производимому или потребляемому за один час при мощности один киловатт.

1 кВт·ч = 1000 Вт · 3600 с = 3600000 ватт-с = 3600000 Дж = 3,6 МДж

Киловатт-час (кВт·ч) является полезной единицей для выражения энергопотребления домохозяйств и малых предприятий. Типичное домохозяйство потребляет несколько сот киловатт-часов в месяц. Мегаватт-час (МВт·ч), равный 1000 кВт·ч, используется для выражения энергопотребления промышленных предприятий и производства энергии на электростанциях.

1.2.2. Законы термодинамики

Как следует из раздела 1.2.1, энергия может преобразовываться из одной формы в другую при помощи машины или устройства; машины могут также использоваться для совершения работы (см. Приложение 7.1.1).

Математические соотношения, описывающие процессы преобразования энергии и выражающие связь соответствующих величин, зависят от того, формулируются ли они для «закрытых» или «открытых» систем. Закрытые системы не обмениваются веществом с окружающей средой, хотя могут взаимодействовать с ней другими способами. Граница такой системы может быть проницаемой для тепла и нежесткой, т.е. за счет изменения объема системы может совершаться работа (см. рис. 1.4).

Реальные промышленные системы являются «открытыми», поскольку они обмениваются веществом с окружающей средой. Для описания системы должны быть определены ее параметры – например, температура, давление, концентрация веществ, а также скорости изменения этих величин.

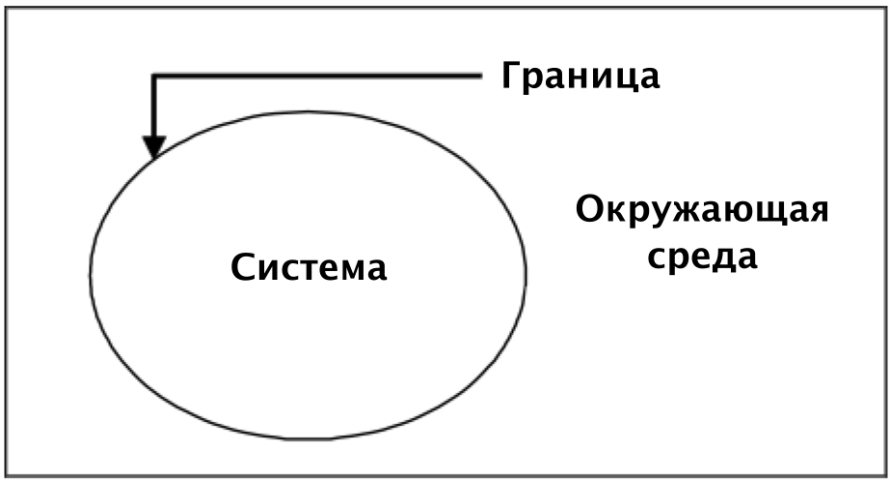


Рисунок 1.4: Термодинамическая система

1.2.2.1. Первый закон термодинамики: сохранение энергии

Согласно этому закону, *энергия не может ни возникать, ни уничтожаться, и ее количество сохраняется во времени*. Возможно только преобразование энергии из одной формы в другую. Это означает, что в стационарном режиме[13] общий поток энергии, поступающий в систему с заданными границами, равен общему потоку энергии, покидающей систему.

К сожалению, термины «производство энергии» и «генерация энергии», будучи некорректными в строгом смысле, получили широкое распространение. Они используются и в настоящем документе (это связано с тем, что корректный термин «преобразование энергии» не получил широкого распространения в промышленности и может оказаться непривычным для некоторых читателей). Термин «использование энергии» является корректным, поскольку он не подразумевает ни создания, ни уничтожения энергии. В любом случае, все термины подобного рода, используемые в настоящем документе, означают преобразование энергии из одной формы в другую или совершение работы с использованием энергии (что также связано с преобразованием последней).

Для закрытой системы следствием первого закон термодинамики является тот факт, что изменение полной энергии системы равно поступлению энергии в систему из окружающей среды за счет теплопередачи и совершаемой работы. Это может быть выражено при помощи следующего уравнения:

[13] Стационарный режим имеет место, когда состояние и поведение системы, наблюдаемые на протяжении достаточно длительного промежутка времени, не изменяются, например, сила тока или расход вещества в сети остаются постоянными (при неизменных значениях таких физических величин, как напряжение, давление и т.д.).

$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W$ (в системе СИ все величины в этом уравнении измеряются в джоулях)

Где:

U_1 – полная энергия системы до изменения;

U_2 – полная энергия системы после изменения;

Q – количество теплоты: $Q > 0$ в том случае, если система получает тепло от окружающей среды;

W – работа: $W > 0$ в том случае, если работа совершается системой.

Теория относительности устанавливает эквивалентность массы и энергии, в результате чего закон сохранения массы оказывается частным случаем закона сохранения энергии. При этом должен иметь место баланс потоков энергии-массы, поступающих в заданную систему и покидающих ее. Поскольку релятивистские эффекты, приводящие к значимому превращению массы покоя в энергию, практически не встречаются в современном промышленном производстве (возможным исключением являются ядерные реакции), возможно составление как энергетических, так и материальных балансов предприятий, производственных систем и процессов. Таким образом, закон сохранения энергии лежит в основе энергетического аудита и деятельности по составлению энергетических балансов (см. раздел 2.11).

В соответствии с первым законом термодинамики, общая эффективность использования энергии или коэффициент полезного действия (в случае тепловой машины, совершающей работу) представляет собой долю подведенного к системе тепла, преобразованную в работу:

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

где:

η – коэффициент полезного действия;

W – работа;

Q – количество теплоты.

Эта же величина может быть выражена в следующей форме:

$$КПД\ \eta = \frac{полезная\ энергия, "произведенная"\ системой}{энергия, подведенная\ к\ системе} = \frac{работа\ (W)}{энергия\ (E)}$$

В системе СИ как полезная работа (W), выполненная системой, так и подведенная к системе энергия измеряются в джоулях, поэтому эффективность (КПД) выражается безразмерной величиной в диапазоне от 0 до 1 или процентной долей. (Примечание: это может не иметь места в ситуации, когда энергия пара, тепловая или электрическая энергия выражается в единицах какого либо специального эквивалента, как, например, в Справочном документе по сжиганию отходов) [254, EIPPCB, 2005, 255, EC, et al., 2005].

1.2.2.2. Второй закон термодинамики: рост энтропии

Второй закон термодинамики утверждает, что *энтропия (см. ниже) термодинамически изолированной системы не может уменьшаться с течением времени*. Для обратимого процесса и закрытой системы энтропия может быть определена как:

$$\underbrace{S_2 - S_1}_{\text{Изменение энтропии}} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)}_{\text{Передача энтропии, обр. процесс}}$$

Где:

S – энтропия (единица измерения в СИ – Дж/К);

Q – количество теплоты;

T – температура.

Этот закон позволяет ввести представление о «качестве» энергии, а также о термодинамической необратимости, определяющей общее направление термодинамических процессов и эволюции вселенной в целом. Строгое математическое понятие энтропии может быть неформально пояснено несколькими способами, иллюстрирующими различные стороны этого понятия:

- более высокая энтропия соответствует большей доле «рассеянной», «бесполезной» или «неизвлекаемой» энергии (представленной хаотическим движением на молекулярном уровне);
- мера частичной потери способности системы к совершению полезной работы вследствие эффектов термодинамической необратимости;
- количественная мера изменения степени беспорядка (например, на молекулярном уровне) между начальным и конечным состоянием системы. Второй закон термодинамики утверждает, что эта величина не может уменьшаться. Одним из следствий этого является тенденция к выравниванию давления или концентрации химических веществ в сообщающихся системах и установлению равновесия в пределах общей системы.

Существуют различные следствия этого закона, некоторые из которых также иллюстрируют понятие роста энтропии[14]:

- в любом процессе или виде деятельности существует внутренне присущая ему тенденция к потере (или рассеянию) полезной энергии (например, за счет трения), а также к уменьшению способности к совершению полезной работы;
- теплота передается в определенном предсказуемом направлении (например, от горячего тела к холодному);
- невозможно передать тепло от холодной системы к горячей без одновременного преобразования определенного количества энергии в тепловую;
- работа может быть полностью превращена в тепло, но тепло не может быть полностью преобразовано в работу;
- невозможен циклический процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счет тепла, отводимого от единственного резервуара (изолированного источника). Полезная работа может производиться лишь за счет одновременной передачи тепла от горячего к холодному резервуару. Из этого следует невозможность «вечного двигателя второго рода» (работа не может «производиться из ничего»).

На практике это означает, что никакое преобразование энергии не может иметь стопроцентную эффективность с точки зрения получения полезной энергии или работы (см., в частности, обсуждение низшей теплоты сгорания топлива в разделе 1.3.6.2). Однако из этого следует и тот факт, что, уменьшив степень увеличения энтропии в каком-либо процессе, например, в химической реакции, можно повысить энергоэффективность этого процесса.

Таким образом, полная энергия системы может рассматриваться как сумма «полезной» и «бесполезной» энергии.

Мерой содержание тепла в системе является ***энтальпия*** (H), называемая также теплосодержанием, которая связана с внутренней энергией (U), давлением (P) и объемом (V):

$H = U + PV$ (размерность энтальпии в системе СИ – джоуль)

U – внутренняя энергия системы, связанная с процессами на уровне микроскопических частиц – атомов и молекул.

[14] Существуют и другие следствия этого закона, например, то, что упорядоченность Вселенной неуклонно уменьшается с течением времени.

Если система переходит из одного состояния в другое, изменение энтальпии ΔH равно разности энтальпий в начальном и конечном состояниях системы (в случае химической реакции – разности энтальпий продуктов реакции и исходных веществ):

$\Delta H = H_{кон} – H_{нач}$ (в системе СИ размерность всех членов – джоуль)

Общее изменение энтальпии ΔH будет отрицательным, если в процессе изменения система отдает тепло окружающей среде (экзотермический процесс) и положительным, если система получает тепло (эндотермический процесс). Следует заметить, что изменение энтальпии зависит лишь от начального и конечного состояния системы, но не от конкретного процесса. Изменение энтальпии в процессе образования химического соединения из простых веществ называется энтальпией или теплотой образования данного соединения. Энтальпия образования является удельной величиной и представляет собой величину изменения энтальпии на один грамм или моль образующегося соединения. Существуют также стандартные удельные изменения энтальпии для других химических реакций – процессов сгорания, гидрогенизации и т.п.

Изменения фазового состояния вещества также сопровождаются изменением энтальпии, величина которого называется **скрытой теплотой** или **теплотой фазового перехода**. Удельная теплота, связанная с переходом из твердого состояния в жидкое, называется удельной теплотой плавления, а с переходом из жидкого состояния в газообразное – удельной теплотой испарения.

Изменение энергии системы может рассматриваться как состоящее из «полезной» и «бесполезной» компонент, первая их которых может быть использована для совершения полезной работы. Из второго закона термодинамики следует, что для совершения работы необходимо взаимодействие двух систем. ***Эксергия*** (B) представляет собой максимальную полезную работу, которая может быть совершена при переходе системы в состояние равновесия с окружающей средой (например, в состояние с той же температурой, давлением, химическим составом, что и среда; см. раздел 1.2.2.4).

Отношение эксергии тела или системы к их полной энергии может рассматриваться как мера качества энергии. Такие формы энергии, как кинетическая и электрическая энергия, а также **свободная энергия Гиббса** (G) могут быть полностью преобразованы в работу, поэтому их эксергия равна количеству энергии. Однако такие формы энергии, как энергия электромагнитного излучения и тепловая энергия, не могут быть полностью преобразованы в работу, и соответствующая эксергия меньше количества энергии. Конкретное содержание эксергии в веществе или системе определяется соотношением их энтропий в данном состоянии и в равновесии с окружающей средой.

Существует ряд формул для определения эксергии на основе различных параметров системы (температуры, давления, химического состава, энтропии, энтальпии и т.д.). Удельный поток эксергии для материального потока равен:

$E = H – H_0 – T_0(S – S_0)$, где индекс 0 относится к базовым условиям (состоянию среды-приемника)

В качестве практической иллюстрации понятия «полезной энергии» рассмотрим следующий пример. 300 кг пара при температуре 400°C и давлении 40 бар и 6 т воды при 40°C содержат одно и то же количество энергии (по сравнению с одной и той же базовой температурой) – 1 ГДж. Пар при давлении 40 бар способен совершать значительную полезную работу (генерация электроэнергии, приведение в действие механического оборудования и т.д.), однако возможности полезного применения воды с температурой 40°C крайне ограничены. Существуют способы повышения эксергии низкотемпературного пара, однако они требуют затрат энергии из внешнего источника. Так, эксергия может быть повышена при помощи теплового насоса, при работе которого затрачивается энергия.

1.2.2.3. Баланс эксергии: сочетание первого и второго законов

Первый и второй законы термодинамики могут быть объединены в одно уравнение, которое может быть полезным для анализа эксергии, потенциала полезной работы и других характеристик системы. Эта форма законов термодинамики может оказаться полезной для анализа производственных систем, их функционирования и возможностей оптимизации (см. раздел 2.13).

Баланс эксергии для открытой системы

Скорость изменения эксергии для открытой системы равна:

$$\underbrace{\frac{dE_{cv}}{dt}}_{\text{Скорость изменения эксергии}} = \underbrace{\sum_j \left(1-\frac{T_0}{T_j}\right)\dot{Q}_j - \left(\dot{W}_{cv} - P_0\frac{dVcv}{dt}\right) + \sum_i \dot{m}_i e_i - \sum_e \dot{m}_e e_e}_{\text{Скорость поступления эксергии через границы системы (с теплотой, работой и материальными потоками)}} - \underbrace{\dot{I}}_{\text{Скорость уничтожения эксергии}}$$

где:

E_{cv} – эксергия при постоянном объеме;

T – температура;

t – время;

члены $\dot{m}_i e_i$ и $\dot{m}_e e_e$ – скорость поступления эксергии в систему и отведения эксергии от системы с входным материальным потоком i и выходным материальным потоком e соответственно ($\dot{m}_i$ и $\dot{m}_e$ представляют собой соответствующие массовые расходы);

$\dot{Q}_j$ – поток теплоты через границу системы в месте, где мгновенная температура составляет T_j;

$\dot{I}$ – скорость «уничтожения» эксергии, мера необратимости;

P – давление;

V – объем;

$\dot{W}_{cv}$ – работа при постоянном объеме.

Для стационарного режима уравнение баланса приобретает следующий вид:

$$0 = \sum_j \left(1-\frac{T_0}{T_j}\right)\dot{Q}_j - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i e_i - \sum_e \dot{m}_e e_e - \dot{I}$$

Применение понятия эксергии в промышленности

Применение понятия эксергии при анализе технологических процессов и проектировании установок в химической промышленности внесло определенный вклад в бурное развитие химической промышленности в XX в. На ранних этапах этого процесса эксергию, как правило, называли «доступной работой».

Одной из целей методов энергетического и эксергетического анализа в процессе проектирования установок является расчет баланса входных и выходных потоков и выбор оптимального проектного решения из нескольких вариантов до строительства установки или реализации технологического процесса. Во многих случаях проектировщик стремится выбрать на основе рассчитанных балансов наиболее эффективный вариант. Однако выбор может не быть самоочевидным, поскольку возможны различные трактовками эффективности (см. раздел 2.13):

- с точки зрения энергетической эффективности, «энергетического КПД» или «КПД по первому закону», наиболее эффективным является процесс, в котором теряется как можно меньшая доля энергии, поступающей в систему;
- с точки зрения эксергетической эффективности, «эксергетического КПД» или «КПД по второму закону», наиболее эффективным является процесс, в котором непроизводительно

теряется как можно меньшая доля «доступной работы» (эксергии), поступающей в систему.

Как правило, обеспечение большей эксергетической эффективности сопряжено с увеличением затрат на строительство предприятия или установки, поэтому необходимо найти оптимальный баланс между объемом капитальными затратами и эффективностью в процессе эксплуатации.

1.2.2.4. Диаграммы свойств

Если свойства системы (например, температура T, давление P, концентрация) измерены и не меняются самопроизвольно с течением времени, говорят, что система достигла **состояния равновесия**, определяемого данными свойствами. Равновесное состояние системы может быть воспроизведено в другой (аналогичной) системе и может быть однозначно определено набором свойств, представляющих собой **функции состояния** системы: этот принцип получил название **постулата состояния**. Из этого следует, в частности, что состояние однокомпонентной системы (системы, состоящей из одного чистого вещества) может быть представлено точкой на двумерной диаграмме, по осям которой отложены два независимых свойства. Пять основных свойств, обычно используемых при построении диаграмм свойств, включают: давление (P), температуру (T), удельный объем (v), удельную энтальпию (h) и удельную энтропию (s). Для системы, состоящей из двух (или более) веществ или фаз, вводится дополнительный параметр «качество» (X), отражающий состав системы. Чаще всего используются следующие виды диаграмм свойств: давление – температура (P–T), давление – удельный объем (P–v), температура – удельный объем (T–v), температура – энтропия (T–s), энтальпия – энтропия (h–s), а также диаграммы температура – энтальпия (T–h), используемые в процессе пинч-анализа (см. раздел 2.12). Все эти диаграммы могут быть полезны для графического представления различных процессов. Кроме того, три первые диаграммы могут использоваться для иллюстрации соотношения между тремя фазами вещества.

Диаграммы температура – давление (фазовые диаграммы)

На фазовых диаграммах представлены равновесные состояния различных фаз системы, отличающихся друг от друга теми или иными термодинамическими свойствами.

На диаграмме P – T (рис. 1.5) для однокомпонентной системы двумерные области являются *однофазными*, т.е. соответствуют определенным фазам системы (твердой, жидкой или газообразной). В этих областях фазовое состояние однозначно определяется парой параметров – температурой и давлением.

Линии, отделяющие однофазные области друг от друга (*границы раздела фаз*), представляют состояния (определяемые давлением и температурой), при которых две фазы могут существовать в равновесии. При условии равновесия между фазами давление и температура не является независимыми переменными; состояние системы определяется значением одного интенсивного свойства (P или T). Линия, разделяющая области твердой и газообразной фазы, называется линией сублимации, области жидкой и газообразной фазы – линией испарения, твердой и жидкой фазы – линией плавления.

Все три границы раздела встречаются в *тройной точке*, где все три фазы могут сосуществовать в равновесии. В этом случае независимые переменные отсутствуют – условие равновесия трех фаз однозначно определяет температуру и давление.

Линия испарения заканчивается в *критической точке*. При давлениях и температурах, превышающих критическое, вещество находится в сверхкритическом состоянии, где не существует четкого различия между жидкой и газообразной фазой. Таким образом, при достаточно высоких давлениях и температурах жидкая и газообразная фаза становятся неразличимы. Для воды критические значения составляют примерно 647 K (374 °C) и 22,064 МПа. Состояние вещества, находящееся на диаграмме слева от линии испарения, описывается как сжатая жидкость, а справа – как перегретый пар.

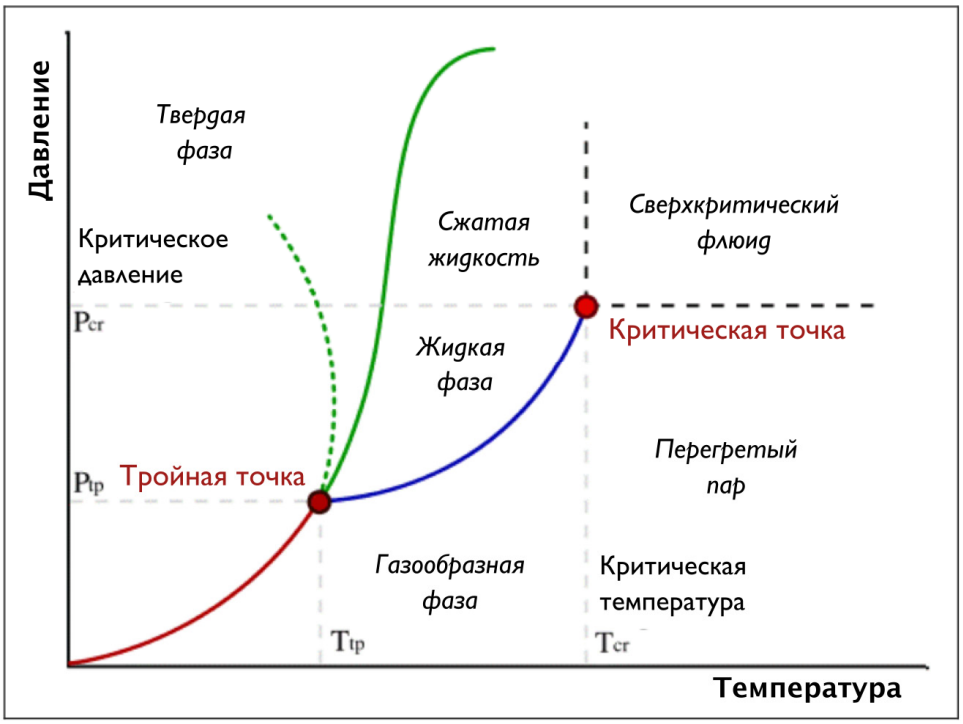


Рисунок 1.5: Диаграмма давление – температура (фазовая диаграмма)

[153, Wikipedia]

1.2.2.5. Дальнейшая информация

Дополнительные сведения по данным вопросам могут быть получены в стандартных учебниках по термодинамике, физической химии и т.п.

Существует большое количество печатных справочников и электронных баз данных, содержащих данные и таблицы по термодинамическим свойствам различных веществ, а также диаграммы, отражающие взаимосвязь этих свойств. Приводимая в этих источниках информация основана на экспериментальных данных. Чаще всего приводятся значения таких свойств, как удельный объем, внутренняя энергия, удельная энтальпия и удельная энтропия. Информационные ресурсы такого рода, в частности, доступны через Интернет.

Поскольку состояние системы в однофазной области однозначно задается двумя независимыми переменными, в таблицах обычно приводятся значения V, U, H и S в зависимости от температуры при заданных значениях давления для перегретого пара и сжатой жидкости. Если данные для сжатой жидкости отсутствуют, в качестве разумного приближения можно использовать характеристики насыщенной жидкости при той же температуре. Это связано с тем, что свойства сжатой жидкости определяются ее температурой в большей степени, чем давлением.

Так называемые «таблицы насыщения» отражают характеристики состояний насыщенной жидкости и насыщенного пара. Поскольку на границе раздела фаз температура и давление не являются независимыми параметрами, состояние однозначно определяется одним параметром. Поэтому в таблицах насыщения значения V, U, H и S даются в зависимости либо от температуры, либо от давления. В случае смеси насыщенных жидкости и пара вводится дополнительный параметр состояния, «качество», представляющий собой массовую долю пара в смеси.

Дополнительная информация о базах данных и программных пакетах для термодинамического моделирования приведена в Приложении 7.1.3.2.

1.2.2.6. Необратимость и ее источники

В термодинамике *обратимый процесс* является теоретическим понятием, используемым при выводе формул и анализе различных процессов. Однако на практике процессы в любых реальных системах являются *необратимыми*. Это означает, что процесс невозможно обратить – провести через те же состояния в обратном порядке – без использования дополнительной энергии (как

следствие второго закона термодинамики). Трем типам равновесия термодинамической системы – механическому, тепловому и химическому – соответствуют три типа или источника необратимости (на практике все они могут рассматриваться как разновидности термодинамической неэффективности). Изменения в состоянии системы вызываются движущими силами, например, разницей температур, давлений, концентраций и т.п. Процесс тем ближе к теоретическому обратимому процессу, чем меньше величина движущих сил. Однако на практике оказывается, что меньшие движущие силы требуют большего размера оборудования; например, необходимая площадь теплообменных поверхностей тем больше, чем меньше разница температур. Цикл Карно, в котором достигается теоретически максимальный КПД тепловой машины, подразумевает нулевую величину движущих сил и, как следствие, не может быть реализован на практике. Дополнительная информация о цикле Карно приводится в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам [125, EIPPCB] или учебниках термодинамики.

Механическая необратимость связана с трением и, как правило, приводят к изменению (потере) давления.

Тепловая необратимость проявляется в ситуациях, где имеет место конечная разница температур между элементами системы, как, например, в любом теплообменнике. Теплота самопроизвольно перетекает от теплого тела к холодному, что приводит к потере эксергии. Чем больше разница температур, тем больше потеря эксергии, и тем более необратимым является процесс.

Химическая необратимость проявляется в процессах смешивания и растворения, а также в химических реакциях. Например, при смешивании воды и соли эксергия системы уменьшается. Эту потерянную эксергию можно наглядно представить как количество работы, которое было затрачено ранее для разделения воды и соли, например, посредством дистилляции, ионообмена, мембранной фильтрации или сушки. Химическая необратимость имеет место в любой ситуации загрязнения воды или атмосферы. Загрязнение (смешивание) происходит самопроизвольно, но очистка (разделение смеси) требует затрат эксергии.

Из термодинамического анализа необратимых процессов следует, что для обеспечения оптимальной энергоэффективности и энергосбережения необходимо выявлять, контролировать и минимизировать все источники механической, тепловой и химической необратимости на производстве.

Примеры необратимости каждого типа приведены в Приложении 7.2.

Чем больше степень необратимости процессов, реализуемых в системе, тем больше потенциал для повышения энергоэффективности последней. Помимо значительных разниц давления, температур и/или химических потенциалов, существенной причиной необратимости может быть большой промежуток времени и/или расстояние между производством и потреблением энергии. Время является важным фактором, определяющим степень необратимости процессов. С течением времени энергетическая система стремится к самопроизвольному уменьшению температуры, давления и химических потенциалов для достижения равновесия с окружающей средой. Существуют две принципиальные стратегии предотвращения этого. Одна из них – непосредственное соединение источников энергии с ее потребителями (см., например, раздел 3.3). Вторая стратегия состоит в окружении системы жесткими (не передающими давление) адиабатическими (теплонепроницаемыми) стенками и/или поддержании химической системы в метастабильном состоянии. Иными словами, эти стратегия сводится к изоляции системы от окружающей среды, что позволяет поддерживать ее интенсивные свойства с течением времени.

Термодинамика играет важную роль в оптимизации энергоэффективности. В частности, она занимает важное место в таких подходах, как:

- энергоэффективное проектирование (см. раздел 2.3);
- различные аналитические инструменты, включая пинч-анализ, а также анализ энтальпии и эксергии (см. разделы 2.12 и 2.13);
- термоэкономика, представляющая собой сочетание термодинамического и экономического анализа (см. раздел 2.14.).

1.3. Определения показателей энергоэффективности и повышения энергоэффективности

1.3.1. Вопросы энергоэффективности и ее оценки в Директиве IPPC

[4, Cefic, 2005, 92, Motiva Oy, 2005] [5, Hardell and Fors, 2005]

«Энергоэффективность» – широко используемый термин качественного характера, обозначающий средство достижения различных целей, в т.ч. целей национальной и международной политики, а также цели бизнеса, важнейшими из которых являются (как обсуждалось в предисловии)[15]:

- снижение выбросов углекислого газа (предотвращение изменения климата);
- повышение безопасности энергоснабжения (в результате более устойчивого производства);
- снижение затрат (повышение конкурентоспособности бизнеса).

На первый взгляд, понятие «энергоэффективность» кажется несложным для понимания. Однако, как правило, оно используется без строгого определения, в результате чего «[термин] "энергоэффективность" может означать разные вещи в различные моменты времени, в различных местах и обстоятельствах». В результате этой неопределенности использование термина было охарактеризовано как «уклончивое и непостоянное», приводящее к «несогласованности и путанице». В ситуациях, когда требуется выразить энергосбережение количественно, отсутствие общепринятого определения «является серьезным препятствием, особенно в случаях сравнительного анализа крупных предприятий или отраслей промышленности». Директива КПКЗ не содержит определения «энергоэффективности», и в настоящем разделе обсуждаются вопросы, относящиеся к определению этого понятия в контексте установок и выдачи разрешений [62, UK_House_of_Lords, 2005, 63, UK_House_of_Lords, 2005].

Поскольку Директива КПКЗ относится к производственным процессам в рамках установки, в центре внимания настоящего документа находится физическая энергоэффективность на уровне установки. Поэтому вопросы жизненного цикла продукции и сырья не рассматриваются в настоящем документе, хотя они и имеют значение с точки зрения общей эффективности использования ресурсов (эти вопросы рассматриваются в политиках и других документах, относящихся к продукции, подробнее см. «Область применения»).

Вопросы экономической эффективности также обсуждаются в настоящем документе там, где это является уместным (например, при рассмотрении отдельных технических методов, см. также раздел 1.5.1), и/или в случае доступности соответствующих данных. Термодинамическая эффективность рассматривается выше и обсуждается в контексте конкретных технических методов там, где это уместно.

Меры по снижению воздействия продукции и сопутствующей продукции на окружающую среду, а также другие меры могут приводить к снижению энергоэффективности (см. раздел 1.5.2.5). Рассмотрение этих вопросов не входит в задачи настоящего документа.

1.3.2. Эффективное и неэффективное использование энергии

[227, TWG]

Энергоэффективность (и ее противоположность – неэффективность) в контексте установок может рассматриваться двумя способами, которые можно определить следующим образом[16]:

---

[15] Еще одной важной политической целью, связанной с энергоэффективностью, является борьба с «топливной бедностью» (например, сокращение количества домохозяйств, не имеющих возможности обеспечить достаточное отопление в зимний период). Эта проблема, носящая социальный характер, не имеет прямого отношения к вопросам энергоэффективности в промышленности и Директиве КПКЗ.

[16] В английском языке для обоих значений существует только один термин (energy efficiency и его противоположность – inefficiency), что может приводить к путанице. В других языках, например, во французском, существуют отдельные термины для энергоэффективности в смысле

1. Отношение затрат энергии к выходу технологического процесса (количеству произведенной продукции, услуг, работы или другой формы энергии)[17]. В силу законов термодинамики доля полезно используемой в процессе энергии (КПД) никогда не достигает 100% (см. раздел 1.2.2.6). В основе этого вида неэффективности лежат различные формы термодинамической необратимости, в т.ч. связанные с передачей энергии при помощи теплопроводности, конвекции или излучения (тепловая необратимость). Например, теплопередача подразумевает не только передачу тепла в желаемом направлении (соответствующему участку технологического процесса), но и рассеяние через стенки реактора или печи и т.п. Тем не менее, существуют разнообразные методы снижения потерь, многие из которых обсуждаются далее в настоящем документе, например, сокращение потерь, связанных с тепловым излучением при сжигании топлива.

2. Рациональное (или эффективное) использование энергии – использование энергии в оптимальных количествах, необходимым образом и в то время, когда это необходимо. Неэффективность (нерациональное и неэффективное использование) является результатом неоптимального соотношения между затратами энергии и потребностью в ней, что может быть следствием таких причин, как неадекватные проектные решения, эксплуатация или техническое обслуживание; эксплуатация оборудования (например, систем освещения) в отсутствие соответствующей потребности; реализация технологических процессов при температуре выше необходимой; отсутствие мер по адекватному хранению энергии и т.д.

1.3.3 Показатели энергоэффективности

[5, Hardell and Fors, 2005]

Директива EuP[18] [148, EC, 2005] определяет энергоэффективность как:

«отношение выхода (произведенных работы, услуг, продукции или энергии к количеству подведенной энергии».

Этот показатель энергоэффективности, представляющий собой затраты энергии на единицу произведенной продукции или выхода технологического процесса, называется «удельное энергопотребление» (УЭП) и наиболее широко используется в промышленности. (Примечание: данный показатель широко используется в нефтехимической и химической отраслях под названием «коэффициента энергоемкости» (КЭЕ) или «показателя энергоэффективности» (ПЭЭ); см. ниже и в Приложении 7.9.1).

В простейшей форме УЭП может быть определен как:

$$УЭП = \frac{потребление\ энергии}{произведенная\ продукция} = \frac{(подведенная\ энергия - энергия, переданная\ другим\ потребителям)}{выход\ продукции\ или\ других\ результатов}$$

Уравнение 1.1

Как правило, УЭП имеет размерность ГДж/т и может применяться для установок, в которых выход продукции измеряется в единицах массы. Для энергопроизводящих установок (электростанций, мусоросжигательных заводов) более уместным может быть использование в качестве показателя энергоэффективности КПД установки – отношения произведенной энергии (ГДж) к подведенной энергии (ГДж). В качестве показателя УЭП могут использоваться и другие отношения, такие, как затраты энергии на м^2 (например, при покрытии рулонной стали, в некоторых операциях при производстве автомобилей), затраты энергии на одного работника и т.д., etc.

Кроме того, используется термин «коэффициент энергоемкости» (см. примечание выше относительно использования этого термина в нефтехимической промышленности). Следует иметь в виду, что экономисты, как правило, понимают под КЭЕ отношение потребленной энергии к

эффективности(КПД)/потерь – 'rendements/pertes énergétiques', и в смысле рационального/нерационального использования – 'efficacités/inefficacités énergétiques '

[17] В тех случаях, когда выходом процесса является работа или энергия, английский термин efficiency в данном смысле означает коэффициент полезного действия (КПД). *(Прим. пера.)*

[18] Директива ЕС по энергопотребляющей продукции (Energy-using Products Directive 2005/32/EC).

какой-либо денежной величине, например, обороту компании, добавленной стоимости, ВВП и т.п. Например:

$$КЭЕ = \frac{потребление\ энергии}{оборот\ установки} = ГДж / евро\ оборота \qquad \textbf{Уравнение 1.2}$$

Однако, поскольку денежный объем выпуска, как правило, растет с течением времени, КЭЕ может снижаться в отсутствие какого-либо роста физической энергоэффективности (если не использовать пересчета в неизменные цены). Поэтому следует избегать использования этого показателя при обсуждении физической энергоэффективности установки.

КЭЕ может также использоваться на макроэкономическом уровне (например, общеевропейском или национальном). В этом случае он выражается, например, в ГДж на единицу ВВП (валового внутреннего продукта) и может использоваться для оценки энергоэффективности национальной экономики (см. примечание выше об использовании термина в экономике).

В любом случае, необходимо уточнение используемых единиц, особенно при сравнении предприятий или отраслей [158, Szabo, 2007].

Важно принимать во внимание различие между первичной энергией (энергией первичных энергоресурсов, например, ископаемого топлива) и вторичной или конечной энергией (например, электроэнергией или энергией пара), см. раздел 1.3.6.1. В идеале, потребление вторичной энергии должно пересчитываться в соответствующее количество первичной энергии, чтобы показатели энергоэффективности отражали удельные затраты первичной энергии. В этом случае удельное энергопотребление может быть выражено, например, как затраты первичной энергии на тонну продукции (МДж/т или ГДж/т) [91, CEFIC, 2005]. Однако этот подход имеет как преимущества, так и недостатки, которые подробнее обсуждаются ниже, в разделе 1.3.6.1.

Знаменатель при расчете удельного энергопотребления

В простейшем случае, когда установка производит один вид основной продукции, в качестве знаменателя при расчете УЭП (уравнение 1.1) может использоваться объем производства этого вида продукции. Во многих случаях ситуация оказывается более сложной – установка может производить несколько видов основной продукции, как это имеет место, например, в случае нефтеперерабатывающих или крупных химических предприятий, соотношение различных видов производимой продукции может меняться с течением времени, или результатом деятельности установки может быть не выпуск продукции, а оказание определенной услуги, как это имеет место в случае предприятия по переработке отходов. В случаях, подобных обсуждаемым ниже в разделе 1.4., могут использоваться другие подходы в зависимости от конкретной ситуации.

1. Существует несколько видов одинаково важной продукции или несколько видов существенной сопродукции. Если это уместно, в качестве знаменателя может использоваться сумма объемов производства этих видов продукции. В противном случае необходимо обоснованным образом определить границы между процессами производства различных видов продукции и рассчитывать энергетический баланс отдельно для каждого процесса.

$$УЭП = \frac{потребление\ энергии}{\sum произведенная\ продукция} =$$

$$= \frac{(подведенная\ энергия - энергия, переданная\ другим\ потребителям)}{\sum произведенная\ продукция}$$

2. Существует несколько выходных потоков продукции, в то время как количество видов сырья невелико. В этом случае в качестве знаменателя может использоваться количество потребляемого сырья. Такой подход рекомендуется в том случае, когда затраты энергии определяются, главным образом, объемом потребляемого сырья, и в меньшей степени – конкретным составом выпускаемой продукции (это может иметь место, если качество продукции существенным образом зависит от характеристик сырья). Однако использование в качестве знаменателя объема потребляемого сырья не отражает ухудшения (снижения) энергоэффективности производства в том случае, когда объем выпускаемой продукции снижается при неизменном потреблении сырья и энергии.

$$УЭП = \frac{потребление\ энергии}{\sum потребление\ сырья} =$$

$$= \frac{(подведенная\ энергия - энергия,\ переданная\ другим\ потребителям)}{\sum потребление\ сырья}$$

3. Существует несколько видов продукции (или один вид продукции, который может иметь различные характеристики), производимый партиями. Примером может служить полимерное производство, выпускающее различные сорта определенного полимера поочередно, на протяжении различных периодов, в зависимости от потребностей рынка. Производство различных сортов требует неодинаковых затрат энергии (как правило, производство более качественных сортов является более энергоемким). В этом случае может оказаться полезным определить усредненный показатель энергоэффективности для каждого сорта (на основе среднего энергопотребления при производстве данного сорта). Тогда удельное энергопотребление для конкретного периода может быть рассчитано как:

$$УЭП = \frac{\sum_{i=A,B,C} X_i \cdot УЭП_{ср.i}}{\left(\frac{Потребление\ энергии\ за\ рассматриваемый\ период}{Сумма\ объемов\ продукции\ A, B\ и\ C, произведенных\ за\ период} \right)}$$

где:

X_i – доля сорта i в общем объеме производства на протяжении данного периода;

$УЭП_{ср.i}$ – средний показатель энергоэффективности для производства сорта i (полученный, например, путем расчета среднего показателя энергоэффективности за контрольный период, в течение которого производился только сорт i).

4. Основным результатом деятельности установки является оказание услуг, и очевидная продукция отсутствует, как, например, в случае мусоросжигательного завода. В этом случае показателем производительности, которая соотносится с затратами энергии, является объем поступающих на переработку отходов:

$$УЭП = \frac{(энергия,\ подведенная\ для\ поддержки\ сжигания - энергия, переданная\ другим\ потребителям)}{(объем\ переработанных\ отходов,\ тонны)}$$

Если существенная доля отходов имеет значительную теплоту сгорания (как в случае твердых бытовых отходов, ТБО), значение показателя будет отрицательным, поскольку часть низшей теплоты сгорания отходов будет утилизирована и использована для производства энергии. Отрицательная величина энергопотребления означает, что установка является нетто-производителем, а не нетто-потребителем энергии. Подобная ситуация часто имеет место на мусоросжигательных заводах.

5. Прочие случаи, в которых отношение энергопотребления к объему продукции (или основному материальному потоку) варьирует настолько, что непригодно для практического использования. Примером может служить полиграфическое производство, где объем бумаги на входе и выходе процесса не обязательно определяет энергозатраты. Это связано с тем, что объем печатных и сушильных работ варьирует в зависимости от количества краски на оттиске и используемых процессов (см. Справочное руководство BREF по обработке поверхностей с использованием растворителей).

Определение повышения энергоэффективности

Директива EuP [147, EC, 2006] определяет повышение эффективности конечного использования энергии в результате технологических изменений, экономических изменений и/или изменений в поведении. Типы изменений, отвечающие указанным критериям, обсуждаются в разделе 1.5; методы общего характера обсуждаются в главах 2 и 3.

Таким образом, повышение энергоэффективности может проявляться в форме [5, Hardell and Fors]:

- неизменного выхода процесса при сокращении потребления энергии, или
- увеличения выхода процесса при неизменном потреблении энергии, или
- такого увеличения выхода процесса, которое в относительных единицах превосходит соответствующее повышение потребления энергии.

Основное назначение показателей энергоэффективности состоит в обеспечении возможности отслеживать изменение энергоэффективности данной производственной установки или технологического процесса с тем, чтобы наблюдать влияние мер и проектов по повышению энергоэффективности на энергетические характеристики процесса/установки. УЭП отражает расход энергии при данном выходе процесса, но полезность единственного показателя ограничена в отсутствие других данных, с которыми его можно было бы сравнивать. Индекс энергоэффективности (ИЭЭ) может использоваться для оценки изменения энергоэффективности на протяжении заданного периода, и более полезен для мониторинга энергоэффективности системы, процесса или установки. Этот показатель определяется посредством деления базового УЭП ($УЭП_{баз}$) на УЭП рассматриваемого процесса или установки. В качестве базового УЭП может использоваться либо эталонное значение, принятое в отрасли, к которой относится рассматриваемый технологический процесс, либо УЭП рассматриваемого процесса в принятом базовом году:

$$ИЭЭ = \frac{УЭП_{баз}}{УЭП} \qquad \textbf{Уравнение 1.3}$$

Индекс энергоэффективности представляет собой безразмерную величину.

Примечание:

- С повышением энергоэффективности величина УЭП снижается, а величина ИЭЭ – увеличивается. Поэтому задачей менеджмента энергоэффективности является достижение минимально возможного УЭП и максимально возможного ИЭЭ
- отражение фактической энергоэффективности при помощи данного показателя может потребовать корректировки с учетом различных факторов, связанных с энергопотреблением.

Периодичность

Следует выбрать адекватную периодичность определения показателей энергоэффективности (см. раздел 2.16 и Справочное руководство BREF по системам мониторинга). При ежечасной оценке показатель энергоэффективности может существенно варьировать в случае непрерывного процесса и быть неприменимым в случае периодического процесса. Эти вариации сглаживаются при расчете показателя за более длительные периоды, например, годы или месяцы. Однако следует отметить, что учет вариаций энергоэффективности за меньшие периоды является необходимым, поскольку он может способствовать выявлению возможностей для энергосбережения.

В дополнение к двум основным показателям, рассмотренным в этом разделе, существуют и другие показатели и подпоказатели энергоэффективности (см. разделы 2.10. и 2.16.).

1.3.4. Практическое применение показателей

В промышленности наиболее часто используется УЭП, рассчитываемый на основе данного выходного (или входного) процесса; этот показатель широко используется и в настоящем документе. Определение показателя выглядит обманчиво простым. Однако опыт количественного определения показателей в процессе мониторинга показывает, что для лучшего определения и оценки энергоэффективности необходим продуманный систематический подход:

Ситуацию осложняют несколько факторов, в частности:

- энергия не всегда учитывается одинаковым образом или на основе одних и тех же параметров различными компаниями или сотрудниками;

- часто возникает необходимость оценить вклад энергоэффективности отдельного технологического процесса в общую энергоэффективность производственного объекта, на котором реализуется несколько технологических процессов;
- определение не содержит информации о том, насколько эффективно произведена используемая энергия, а также о том, насколько эффективно используется энергия, поставляемая за пределы системы.

Информативные и практически полезные показатели энергоэффективности должны обеспечивать сопоставимость, например, с другими производственными единицами или установками, или с другими периодами времени. При этом важно иметь в виду, что обеспечение сопоставимости требует наличия определенных правил или соглашений. Так, в случае сравнения энергоэффективности особо важным является определение границ систем, которое должно обеспечить равные условия для всех сопоставляемых единиц.

В своей простейшей форме приведенное определение показателя не учитывает ни того, насколько эффективно произведена используемая энергия, ни того, каким образом используется «отходящая энергия за границами системы». Для адекватной оценки улучшений энергоэффективности необходима прозрачность в отношении этих и ряда других вопросов. Эти вопросы обсуждаются в разделах 1.4 и 1.5.

Для целей комплексного предотвращения и контроля загрязнений энергоэффективность может рассматриваться:

- на уровне установки, в процессе выдачи разрешения, когда может рассматриваться энергоэффективность:
  - установки в целом;
  - отдельных технологических процессов, производственных единиц и/или систем;
- на европейском уровне, для отрасли промышленности или вида деятельности , при определении значений (ориентиров) энергоэффективности, связанных с НДТ, например, в рамках отраслевого Справочного руководства BREF.

Удельное энергопотребление и индекс энергоэффективности (см. раздел 1.3.3) представляют собой примеры показателей энергоэффективности. Применимость различных методов должна анализироваться в контексте отрасли промышленности и типа технологического процесса, а в некоторых случаях – в контексте конкретной установки (см. обсуждение в разделе 2.16). Все промышленные установки имеют свои индивидуальные особенности. Существуют различия в используемом сырье, конкретных технологиях, качестве и составе выпускаемой продукции, методах мониторинга и т.д. Возраст установки также может существенно влиять на энергоэффективность: как правило, новые установки характеризуются более высоким уровнем энергоэффективности, чем старые [156, Beerkens, 2004, 157, Beerkens R.G.C. , 2006]. Принимая во внимание весь диапазон факторов, влияющих на энергоэффективность, можно сделать вывод, что сопоставление различных установок при помощи показателей энергоэффективности может привести к ошибочным выводам, особенно в случаях, когда на практике затруднительно (или даже невозможно) надлежащим образом учесть все значимые переменные [127, TWG].

При оценке энергоэффективности может оказаться полезной следующая последовательность действий [4, Cefic, 2005]:

- оценить производственный объект (установку) с целью определения того, может ли быть выработан удельный показатель использования энергопотребления для объекта в целом;
- разбить объект на основные и вспомогательные производственные единицы в том случае, если удельный показатель для объекта в целом установить невозможно, или такая разбивка полезна для анализа энергоэффективности;
- определить показатели для каждой производственной единицы, а также для объекта в целом или его части;
- рассчитать принятые удельные показатели, зафиксировать в документации процесс их определения и расчета, и периодически повторять расчет показателей, отмечая любые

изменения с течением времени (например, изменения в составе выпускаемой продукции или производственном оборудовании).

1.3.5. Значимость систем и границ систем

Наилучшая энергоэффективность промышленного предприятия в целом не обязательно достигается в результате оптимизации энергоэффективности его компонентов по отдельности. Действительно, в случае оптимизации каждого процесса независимо от других процессов на том же предприятии возможна, например, ситуация, когда избыточный пар, образующийся на одном из этапов производства, приходится выпускать в атмосферу. Рассмотрев возможности интеграции компонентов производства, можно добиться оптимального баланса между существующими потребностями и ресурсами, и обеспечить сокращение общего энергопотребления объекта, направляя пар, образующийся в рамках одного из процессов, для удовлетворения потребностей другого процесса.

Поэтому синергетический эффект может быть достигнут посредством последовательного рассмотрения (в следующем порядке):

1. Производства в целом с учетом взаимосвязей различных процессов и/или систем (например, компрессорных систем и систем отопления). Этот анализ может включать рассмотрение возможностей снижения энергоэффективности отдельных технологических процессов или производственных единиц для достижения оптимальной энергоэффективности производства в целом. Должна быть оценена эффективность процессов, подразделений, вспомогательных производств и видов деятельности, даже если их состояние в настоящий момент представляется адекватным.

2.Возможностей для оптимизации отдельных процессов и/или систем (например, системы снабжения сжатым воздухом, системы охлаждения, паровой системы).

3. Наконец, возможностей для оптимизации отдельных узлов и элементов систем (например, электромоторов, насосов, клапанов)

Для понимания значения анализа на уровне систем при оптимизации энергоэффективности важно представлять, каким образом определение системы и ее границ способно повлиять на деятельность по повышению энергоэффективности. Эти вопросы обсуждаются в разделах 1.5.1 и 2.2.2.

Кроме того, расширяя границы системы за пределы деятельности компании и обеспечивая интеграцию промышленного производства и потребления энергии с потребностями коммунального хозяйства за пределами объекта, можно достичь дальнейшего повышения энергоэффективности. Примером может служить когенерация (см. раздел 3.4) с поставкой низкопотенциальной энергии для отопления прилегающих районов.

1.3.6. Другие используемые термины

Определения и разъяснения прочих используемых терминов приводятся в Глоссарии, Приложении 7.1, а также других публикациях.

1.3.6.1. Первичная энергия, вторичная энергия и конечная энергия

Первичная энергия представляет собой энергию, содержащуюся в топливном сырье (природных топливных ресурсах до какой-либо переработки), включая отходы, пригодные для сжигания, и любые другие непреобразованные формы энергии, поступающие в систему в качестве входного потока. Понятие первичной энергии особенно широко используется в энергетической статистике при составлении энергетических балансов.

Первичная энергия преобразуется в другие формы энергии, более удобные для использования, например, в электроэнергию, энергию пара или более чистые виды топлива. В энергетической статистике эти производные формы энергии называются вторичной энергией. Конечная форма энергии представляет собой ту форму, в которой энергия поставляется пользователям. Конечная энергия может быть как первичной, так и вторичной. Например, предприятие может одновременно потреблять природный газ (первичная энергия) и электроэнергию (вторичная

энергия). Соотношение между первичной, вторичной и конечной энергией проиллюстрировано на рис. 1.6.

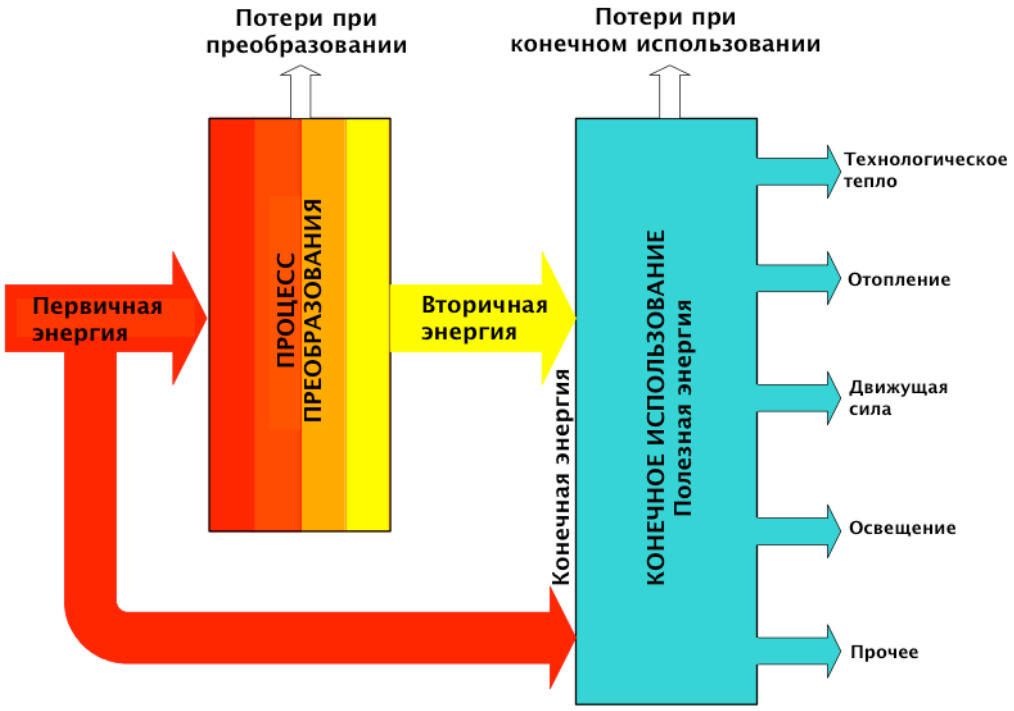


Рисунок 1.6: Определение первичной, вторичной и конечной энергии

[260, TWG, 2008]

Примеры использования первичной и вторичной энергии приводятся в разделе 1.4.2.1. Сравнивая различные потоки энергии (например, пар и/или тепло, производимые на предприятии с использованием топливного сырья, по сравнению с электричеством, производимым за пределами предприятия и получаемым по распределительным сетям), важно принимать во внимание потери при производстве вторичной энергии за пределами предприятия. В противном случае может создаться видимость того, что получение вторичной энергии извне является значительно более эффективным, как показано в примере в разделе 1.4.2.1.

Вторичная энергия может поставляться на установку или подводиться к технологическому процессу извне, в частности, в одной из следующих форм:

- **электроэнергия**: КПД производства электроэнергии варьирует в зависимости от используемых топлива и технологии, см. [125, EIPPCB]. Для традиционных паровых ТЭЦ КПД производства электроэнергии из первичного топлива составляет 36–46 %. Для технологии комбинированного цикла (парогазовых установок) КПД находится в диапазоне 55–58 %. В случае когенерации (производство двух видов энергии – электрической и тепловой, см. раздел 3.4) общий КПД с учетом электроэнергии и тепла может достигать 85% и более. КПД производства энергии на АЭС и из возобновляемых источников рассчитывается на основе других принципов.
- **пар**: затраты первичной энергии на производство пара могут быть определены как

$$\frac{h_s - h_w}{\eta_b},$$

где h_s – энтальпия пара;

h_w – энтальпия питательной воды котла (после деаэрации);

η_b – тепловой КПД котла.

Однако эта оценка не принимает во внимание всех значимых факторов. В принципе, при расчете полного потребления энергии на производство пара должны учитываться следующие затраты:

- В паровой системе, например:
    - затраты тепла на подогрев питательной воды котла до температуры деаэратора;
    - расход пара в деаэраторе для удаления кислорода из питательной воды;
- Во вспомогательных системах и узлах, например:
    - энергия, потребляемая насосом, обеспечивающим поддержание рабочего давления в котле;
    - энергия, потребляемая вентилятором, обеспечивающим наддув котла.

Следует принимать во внимание и другие факторы, например, особенности используемого топливного сырья. Методики расчета показателей энергоэффективности или ориентиры энергоэффективности должны сопровождаться ясным описанием метода определения первичной энергии для пара Важно обеспечить единообразный подход к расчету первичной энергии пара при наличии стандартов расчета КПД для котлов (см. раздел 3.2.1) [249, TWG, 2007, 260, TWG, 2008].

Существуют и другие виды вторичных энергоресурсов, которые могут рассматриваться аналогичным образом, например:

- сжатый воздух: см. раздел 3.7;
- горячая вода;
- охлаждающая вода: см. раздел 3.4.3.

Другие входные потоки могут не рассматриваться как «энергоресурсы» в традиционном смысле. Однако их производство на предприятии или за его пределами и/или способы их использования могут оказывать значительное влияние на энергопотребление. Например:

- азот: см. раздел 3.7 о сжатом воздухе и производстве N_2 низкого качества;
- кислород: встречаются заявления о том, что использование кислорода при сжигании топлива повышает КПД процесса. Однако с учетом затрат энергии на производство кислорода может оказаться, что эти затраты равны дополнительной энергии, полученной в процессе кислородного сжигания, или даже превосходят ее (соотношение определяется, в частности, конструкцией топки); в то же время дополнительным преимуществом кислородного сжигания является значительное снижение образования NO_X, см. раздел 3.1.6.

[156, Beerkens, 2004, 157, Beerkens R.G.C. , 2006].

Однако пересчет потребляемой энергии к первичной энергии требует времени (хотя периодические расчеты в неизменной ситуации могут быть легко автоматизированы при помощи электронных таблиц) и не свободен от проблем интерпретации. Например, новая установка, использующая наиболее энергоэффективные технологии, может эксплуатироваться в стране с устаревшими и неэффективными генерирующими мощностями, а также распределительными сетями. С учетом низкого КПД производства и передачи электроэнергии в стране показатели энергоэффективности установки могут оказаться существенно хуже, чем показатели аналогичных установок в других странах [127, TWG]. Кроме того, различные источники электроэнергии имеют различные КПД генерации, а структура генерации варьирует от страны к стране. Эта проблема может быть преодолена посредством использования стандартных значений, например, «европейской структуры топливного баланса» (см. Приложение 7.16). Однако для учета эффектов, связанных с производством вторичных энергоресурсов, включая воздействие на различные природные среды, в зависимости от местных условий могут использоваться и другие показатели, например, углеродный баланс.

Согласно Директиве ЕС 2003/54/ЕС[19], с 1 июля 2004 г. производители электроэнергии обязаны раскрывать структуру топливного баланса. Конкретный формат представления данных оставлен на усмотрение стран – членов ЕС:

http://europa.eu/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l_176/l_17620030715en00370055.pdf

Рекомендации Европейской комиссии по выполнению требований директивы доступны по адресу:

http://ec.europa.eu/energy/electricity/legislation/doc/notes_for_implementation_2004/labelling_en.pdf

В Директиве о поддержке когенерации [146, ЕС, 2004] и рекомендациях к ней приводятся стандартные значения затрат первичных энергоресурсов на производство электроэнергии и пара, а также поправочные коэффициенты для учета географического положения. Директива также содержит методику расчета КПД процесса когенерации.

Кроме того, доступны разнообразные иные источники информации, в частности, данные по национальным структурам топливного баланса:

http://www.berr.gov.uk/energy/policy-strategy/consumer-policy/fuel-mix/page21629.html

Альтернативой пересчету всех форм потребляемой энергии к первичной энергии является расчет удельного потребления каждого из основных энергоресурсов по отдельности. Например, согласно разделу 6.2.2.4 (стр. 338) Справочного руководства BREF для целлюлозно-бумажной промышленности [125, EIPPCB], общая потребность предприятия неполного технологического цикла по производству высокосортной бумаги в энергии (энергопотребление) в форме тепла (пар) и электричества [276, Agency, 1997] составляет:

- технологическое тепло: 8 ГДж/т (≈2222 кВт•ч/т);
- электроэнергия: 674 кВт•ч/т.

Это означает, что на тонну продукции расходуется около 3 МВт·ч энергии в форме электричества и пара. Это соответствует потреблению первичной энергии (энергии ископаемого топлива, используемой для производства необходимых энергоресурсов) 4 МВт·ч/т бумаги. При расчетах предполагалось, что КПД генерации (по отношению к энергии ископаемого топлива) составляет 36,75%. В этом случае потребляемое количество электроэнергии (674 кВт·ч/т) соответствует 1852 кВт·ч/т первичной энергии (например, угля).

В целом, данные по энергопотреблению, приведенные к величине первичной энергии, могут использоваться:

- при сравнении с другими подразделениями, системами, предприятиями в рамках отрасли и т.д.
- при аудите с целью оптимизации энергоэффективности и сравнении вариантов использования различных энергоресурсов для конкретных подразделений или установок (см. разделы 1.4.1 и 1.4.2).

Данные по первичной энергии, рассчитанные в местном (или национальном) масштабе могут использоваться для сравнения конкретных объектов, например:

- при анализе эффектов местного (или национального) уровней, например, при сравнении установок одной компании или отрасли, расположенных в разных местах;
- при аудите с целью оптимизации энергоэффективности и сравнении вариантов использования различных энергоресурсов для конкретных подразделений или установок (см. разделы 1.4.1 и 1.4.2). Например, при оценке планов замены паровой турбины электродвигателем целесообразно использовать фактическую величину КПД при производстве электроэнергии в данной стране.

Данные по первичной энергии, рассчитанные на региональном (межгосударственном) уровне, например, структура топливного баланса ЕС, могут использоваться для:

[19] Директива 2003/54/ЕС от 26 июня 2003 г. относительно общих правил для внутреннего рынка электроэнергии, отменяет Директиву 96/92/ЕС.

- мониторинга деятельности, объектов и установок в масштабах региона, например, в рамках отрасли региональной промышленности.

Значения вторичной или конечной энергии могут использоваться:

- для мониторинга существующей ситуации в отсутствие качественных изменений;
- при расчете вторичной энергии на основе отдельных энергоресурсов – для мониторинга энергоэффективности отдельных предприятий и отраслей промышленности.

Как показано в разделе 1.4.1, данные по конечной (или вторичной) энергии могут использоваться для сравнения конкретных установок в различных странах; на этой основе установлены нормативы удельного энергопотребления в некоторых отраслевых руководствах BREF (см., например, Справочное руководство BREF для целлюлозно-бумажной промышленности). Данные по первичной энергии, напротив, могут использоваться для определения общей энергоэффективности на национальном уровне (например, для сравнения энергоэффективности определенной отрасли в различных странах).

Следует отметить, что как Европейская комиссия (в материалах по энергетике Института перспективных технологических исследований Объединенного исследовательского центра), так и Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) из соображений ясности приводят в своих публикациях значения как первичной, так и вторичной энергии [158, Szabo, 2007].

1.3.6.2. Теплота сгорания топлива и КПД

В странах Европы для расчета содержания полезной энергии в топливе используется низшая теплота сгорания топлива (НТС), называемая также низшей теплотворной способностью или теплотой сгорания нетто. Эта величина представляет собой теплоту, получаемую в результате сгорания (окисления) топлива при условии, что образующийся при этом водяной пар остается в газообразном состоянии, не конденсируясь в воду. Это соответствует реальным условиям котлов, где водяной пар не охлаждается до точки росы, и скрытая теплота его конденсации недоступна для полезного использования.

В США и других странах используется высшая теплота сгорания топлива (ВТС), называемая также высшей теплотворной способностью или теплотой сгорания брутто. Эта величина включает в себя скрытую теплоту конденсации пара, и КПД, рассчитываемый на ее основе, ни при каких условиях не может превысить теоретического предела в 100%. $ВТС_{сух}$ представляет собой ВТС топлива, не содержащего воды или водяного пара, а $ВТС_{вл}$ относится к топливу с некоторым содержанием влаги.

Следует отметить, что при использовании для расчетов НТС вместо ВТС тепловой КПД некоторых конденсационных котлов может превышать 100%, что представляет собой кажущееся нарушение первого начала термодинамики.

Это различие важно принимать во внимание, сравнивая американские и европейские данные, при расчете которых используется теплота сгорания топлива. Однако указанная разница может быть несущественной для таких относительных величин, как ИЭЭ, где величина энергозатрат присутствует как в числителе, так и в знаменателе. Некоторые примеры величин НТС и ВТС приведены в табл 1.1. Как видно из таблицы, соотношение $НТС_{вл}/ВТС_{вл}$ варьирует от 0,968 до 0,767. Следует отметить, что НТС/ВТС может зависеть от источника топлива, времени и т.п.

Топливо	Влажность (% мокрого веса)	Содержание водорода (кгН/кг топл.)	$ВТС_{сух}$ (МДж/кг)	$ВТС_{вл}$ (МДж/кг)	$НТС_{сух}$ (МДж/кг)	$НТС_{вл}$ (МДж/кг)	$НТС_{вл}/ВТС_{вл}$ (безразм.)
Битуминозный уголь	2	4,7	29,6	29,0	28,7	28,1	0,968
Природный газ 1 (Уренгой, Россия)	0		54,6	54,6	49,2	49,2	0,901

Природный газ 2 (Канзас, США)	0		47,3	54,6	42,7	42,7	0,903
Тяжелый мазут	0,3	10,1	43,1	43,0	40,9	40,8	0,949
Легкий мазут	0,01	13,7	46,0	46,0	43,0	43,0	0,935
Сосновая кора невысушен.	60	5,9	21,3	8,5	20	6,5	0,767
Сосновая кора высушен.	30	5,9	21,3	14,9	20	13,3	0,890
Природный газ 1: CH_4 (97,1 объемн. %), C_2H_6 (0,8%), C_3H_8 (0,2%), C_4H_{10} (0,1%), N_2(0,9 %), CO_2(0,1 %) Природный газ 2: CH_4 (84,1 объемн. %), C_2H_6 (6,7%), C_3H_8 (0,3%), C_4H_{10} (0,0%), N_2(8,3 %), CO_2(0,7 %)							

Таблица 1.1: Примеры значений высшей и низшей теплоты сгорания для различных видов топлива

[153, Wikipedia]

1.3.6.3. Меры по повышению энергоэффективности на стороне производителя и стороне потребителя

Под стороной производителя понимается производство энергии, ее передача и распределение. Стратегия и меры, относящиеся к производству энергии за пределами установки, находятся за пределами области действия Директивы КПКЗ (хотя электроэнергетика как вид деятельности подпадает под действие Директивы согласно Приложению 1(1.1)). Следует отметить, что в случае производства электроэнергии и тепла, поставляемых другим подразделениям или процессам в пределах той же установки, это производство также может рассматриваться как «сторона производителя».

Меры на стороне потребителя подразумевают управление энергопотреблением предприятия, и соответствующим методам повышения энергоэффективности посвящена обширная литература. Следует, однако, отметить, что эта эффективность имеет два аспекта: стоимость единицы потребляемой единицы энергии и количество потребленных единиц. Важно проводить различие между повышением эффективности использования энергии в экономических и физических терминах (этот вопрос подробнее обсуждается в Приложении 7.11).

1.4. Показатели энергоэффективности в промышленности

1.4.1. Введение: определение показателей и других параметров

Основное назначение показателей состоит в облегчении самостоятельного анализа и мониторинга энергоэффективности, а также сравнения энергоэффективности подразделений, процессов и установок. Хотя Уравнение 1.1 и Уравнение 1.5 выглядят несложными, с их практическим применением связан ряд проблем, которые должны быть решены перед применением показателей, особенно в случае сравнения одного технологического процесса с другим. В частности, должны быть определены границы процессов и систем, потоки энергии, а также методики сравнения различных видов и источников топлива (а также то, являются ли эти источники внешними или внутренними). После того, как соответствующие решения были приняты для определенного предприятия или сравнительного анализа, необходимо последовательно следовать им.

Настоящий раздел посвящен определению показателей энергоэффективности для конкретных процессов, подразделений или предприятий. В разделе обсуждаются проблемы, значимые для измерения энергоэффективности и оценки ее изменений а также подходы к решению этих проблем.

Некоторые проблемы связаны с обеспечением подлинной сопоставимости данных по различным подразделениям и установкам, а также с риском того, что раскрытие сопоставимых данных

позволит сделать выводы об экономике предприятия, нарушающие конфиденциальность или влияющие на его конкурентоспособность. Эти вопросы и использование показателей для сравнительного анализа обсуждаются в разделе 2.16 «Сравнительный анализ».

Как было отмечено в разделе 1.3.3, показатели энергоэффективности должны быть основаны на удельных величинах, в наибольшей степени отвечающих характеру процесса. В качестве таких величин могут использоваться, например, ГДж/т продукции, ГДж на количество произведенных единиц продукции, соотношение произведенной и затраченной энергии (КПД, для генерирующих предприятий), затраты энергии на $м^2$ (например, при покрытии рулонной стали или некоторых операциях при производстве автомобилей), затраты энергии на одного сотрудника и т.п.

1.4.2. Энергоэффективность производственных единиц

Два следующих примера демонстрируют применение показателей УЭП и ИЭЭ, а также основные проблемы интерпретации.

1.4.2.1. Пример 1. Простой случай

На рис. 1.7 представлен пример входных и выходных потоков производственной единицы, реализующей простой технологический процесс. Для простоты предполагается, что в рамках процесса не производится энергия, поставляемая внешним потребителям, процесс использует один вид сырья и производит один вид продукции. Процесс использует пар, электроэнергию и топливо.

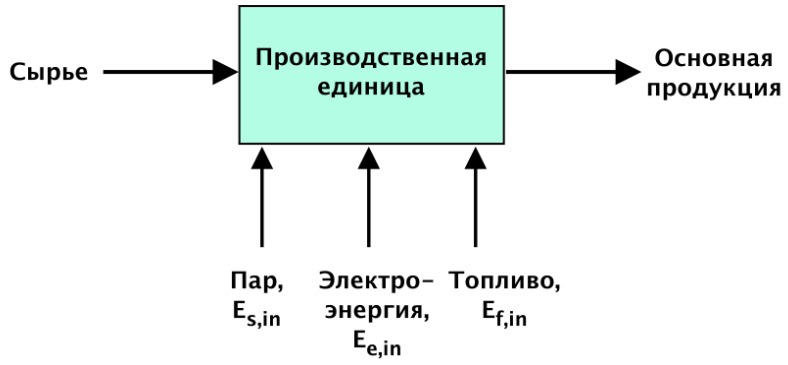


Рисунок 1.7: Потоки энергии в случае простого технологического процесса

УЭП данного процесса определяется по следующей формуле:

$$УЭП = \frac{E_{s,in} + E_{e,in} + E_{f,in}}{P} \qquad \textbf{Уравнение 1.4}$$

где:

$E_{s,in}$ – подводимая к процессу энергия пара, используемая для производства количества продукции P

$E_{s,in}$ – подводимая к процессу электроэнергия, используемая для производства количества продукции P

$E_{s,in}$ – подводимая к процессу энергия топлива, используемая для производства количества продукции P

P – количество произведенной продукции

Важно, чтобы при использовании уравнения 1.5 различные потоки энергии были приведены **к первичной энергии**, причем на основе одной и той же методики (см. раздел 1.3.6.1). Например, производство 1 МВт·ч электроэнергии требует больших энергозатрат, чем производство 1 МВт·ч в форме пара, поскольку типичный КПД генерации электроэнергии составляет 35–58 %, а производства пара – 85–95 %. Поэтому потребление различных потоков энергии в уравнении 1.5 должно быть приведено к первичной энергии на основе КПД производства соответствующих форм энергии.

Рассмотрим пример расчета энергоэффективности производства. Предположим, что для производства 1 т вида продукции P_1 требуются следующие входные потоки энергии:

- 0,01 т топлива;
- 10 кВт·ч электроэнергии;
- 0,1 т пара.

Примем также следующие предположения[20]:

- низшая теплота сгорания топлива составляет 50 ГДж/т;
- КПД производства электроэнергии составляет 40 %
- пар производится из воды, температура которой составляет 25°C, а разница между энтальпией пара и энтальпией воды при температуре 25°C составляет 2,8 ГДж/т;
- КПД производства пара составляет 85 %.

Энергозатраты на производство 1 т вида продукции P_1 составляют (в ГДж):

- $E_{f,in}$ = 0,01 т топлива × 50 ГДж/т = 0,50 ГДж;
- $E_{e,in}$ = 10 кВт·ч × 0,0036 ГДж/кВт·ч × 100/40 = 0,09 ГДж (где 1 кВт·ч = 0,0036 ГДж);
- $E_{s,in}$ =0,1 т пара × 2,8 ГДж/т × 1/0,85 = 0,33 ГДж.

Теперь можно рассчитать УЭП данного процесса:

- УЭП = (0,50 + 0,09 + 0,33) ГДж/т = 0,92 ГДж/т.

Для определения ИЭЭ примем эту величину УЭП за базовую. Теперь предположим, что предприятие осуществляет ряд проектов по повышению энергоэффективности, в результате чего в следующем году энергопотребление на тонну продукции составляет:

- 0,01 т топлива;
- 15 кВт·ч электроэнергии;
- 0,05 т пара.

В результате повышения энергоэффективности новая величина УЭП процесса составляет:

- УЭП = (0,5 + 0,135 + 0,165) ГДж/т = 0,8 ГДж/т.

Таким образом, ИЭЭ процесса составляет:

- ИЭЭ = 0,92/0,8 = 1,15.

Это означает, что энергоэффективность данного технологического процесса увеличилась на 15 %.

Важно отметить, что при расчетах были учтены потери энергии при производстве электроэнергии (посредством приведения к первичной энергии), имеющие место за пределами данного предприятия. Без учета этих потерь использование входного потока электроэнергии выглядело бы на 50 % более эффективным, чем оно фактически является:

$$\frac{(0{,}09 - 0{,}036)}{0{,}036} = 1{,}5; \text{ т.е. } 150\%.$$

Неучет соображений, связанных с первичной энергией, мог бы привести, например, к решению перейти со всех потребляемых видов энергии на электроэнергию. Однако на практике для определения количества полезной энергии каждого из используемых источников потребовался бы более сложный анализ, выходящий за рамки этого простого примера, например, анализ эксергии.

[20] Численные данные приводятся в настоящем разделе лишь для примера и не претендуют на достоверность. Давление пара не указано, но можно предположить, что оно является одним и тем же в обеих частях примера. Анализ эксергии мог бы быть более продуктивным, но он выходит за рамки этого простого примера.

Данный пример демонстрирует важность понимания того, на какой основе рассчитываются УЭП и ИЭЭ.

Следует также отметить, что та же логика применима и к другим потребляемым ресурсам, которые могут подводиться к процессу/подразделению/установке из-за пределов системы (а не производиться внутри системы), например, к пару, сжатому воздуху, N_2 и т.п. См. обсуждение первичной энергии в разделе 1.3.6.1.

1.4.2.2. Пример 2. Типичный случай

На рис. 1.8 представлена более сложная ситуация, в которой имеют место как энергия, поставляемая за пределы системы, так и регенерация топлива в пределах подразделения или процесса. Этот пример демонстрирует принципы, применимые, с соответствующими уточнениями, ко многим предприятиям.

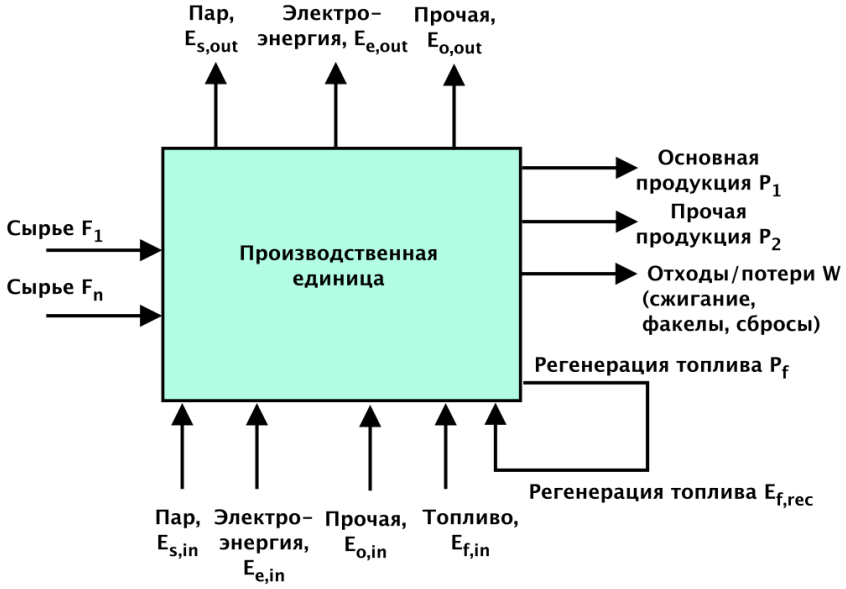


Рисунок 1.8. Потоки энергии производственной единицы

$$УЭП = \frac{(E_{s,in} + E_{e,in} + (E_{f,in} + E_{f,rec}) + E_{o,in}) - (E_{s,out} + E_{e,out} + E_{f,out})}{P_1} \qquad \textbf{Уравнение 1.5}$$

Эта общая формула может применяться к любым технологическим процессам, производственным подразделениям или установкам, однако различные ее компоненты должны быть адаптированы к каждому конкретному случаю. Единицей измерения этого показателя является (единица энергии)/(единица массы), как правило – ГДж/т продукции или МВт·ч/т продукции. Однако возможны ситуации, когда выпускается несколько видов продукции или, помимо основной продукции, производится существенная сопутствующая продукция.

Некоторые соображения, которые следует принимать во внимание при использовании Уравнения 1.5, приводятся в шести нижеследующих пунктах (некоторые из этих соображений применимы и к Уравнению 1.4):

1. Потоки сырья и продукции (F_{1-n}, P_1)

На рис. 1.8 материальные потоки сырья и продукции показаны идущими в горизонтальном направлении. Потоки от F_1 до F_n (F_{1-n}) представляют собой различные виды сырья, используемого при производстве основной продукции P_1, а также сопутствующей продукции. Потоки сопутствующей продукции разделены на две группы: продукция, которая возвращается в процесс в качестве топлива (P_f), и остальные виды сопутствующей продукции (P_2).

Примерами такой ситуации являются:

- производство этилена методом термического крекинга в нефтехимической промышленности, где удельное энергопотребление может рассчитываться как ГДж на

тонну этилена, ГДж на тонну олефинов (этилен + пропилен) или ГДж на тонну всех ценных веществ, получаемых в результате процесса (олефины + бутадиен + бензол + чистый водород)

- хлор-щелочное производство, где удельное энергопотребление обычно рассчитывается на тонну произведенного Cl_2 (основная продукция), а сопутствующей продукцией являются H_2 и NaOH.

2. Потоки энергии (E_{in}, E_o)

Потоки энергии представляют различные виды энергии, подводимые к процессу или поставляемые за его пределы. На рис. 1.8 входные и выходные потоки энергии представлены в вертикальном направлении. Рассматриваются следующие потоки энергии:

- E_s – пар и/или горячая вода;
- E_e – подводимая электроэнергия;
- E_f – топливо (газообразное, жидкое, твердое). Проводится различие между топливом E_f, получаемым из внешних источников, и топливом $E_{f,rec}$, которое регенерируется и возвращается в технологический процесс. Топливо, производимое в качестве продукции для использования за пределами процесса, рассматривается как P_1 или P_2, а не как $E_{f,out}$ (см. п. 5 ниже);
- E_o – прочее: в этот поток включаются любые вспомогательные ресурсы, для производства которых требуется энергия. Примерами являются горячее масло, охлаждающая вода, сжатый воздух и азот (если эти ресурсы потребляются в технологическом процессе). Например, энергия требуется для подготовки охлаждающей воды (энергия используется для приведения в действие насосов, обеспечивающих циркуляцию воды, а также вентиляторов градирен).

При рассмотрении выходных потоков следует учитывать лишь полезную энергию, поставляемую для использования в рамках какого-либо другого процесса или подразделения. В частности, энергия, рассеиваемая в процессе водяного или воздушного охлаждения, не учитывается в составе выходных потоков энергии (E_{out} в Уравнении 1.5). Другие потери тепла, приводящие к его рассеянию в атмосфере, также не должны учитываться в составе выходных потоков полезной энергии. Однако в составе выходных потоков должна также учитываться энергия на подготовку вспомогательных энергоресурсов, используемых за пределами процесса: например, охлаждающей воды, сжатого воздуха, N_2, пара для подогрева трубопроводов или турбин. В разделах главы 3, посвященных вспомогательным системам, приводится информация о соответствующих затратах энергии и потерях.

3. Различные типы пара и горячей воды (E_s)

На производстве может использоваться несколько типов пара (различающихся давлением и/или температурой). Каждый тип пара может вносить собственный вклад в энергопотребление и энергоэффективность процесса. Все эти виды пара следует включить в величину E_s, суммируя их эксергии [127, TWG]. См. раздел 3.2, посвященный паровым системам.

Горячая вода, если таковая используется в процессе (или производится и поставляется другому процессу или производственному предприятию), должна учитываться аналогичным образом.

4. Материальные потоки отходов (W) и потери энергии

В каждом технологическом процессе имеет место образование некоторого количества отходов, а также потери энергии. Образующиеся отходы могут быть твердыми, жидкими или газообразными; способы обращения с ними могут включать:

- размещение на полигоне (только твердые отходы);
- сжигание с утилизацией энергии или без такового;
- использование в качестве топлива в процессе (P_f);
- рециклирование.

Вопросы, связанные с отходами, подробнее обсуждаются в разделе 1.5.2.3.

Потери энергии, имеющие место, например, при сжигании топлива, включают:

- тепло дымовых газов;
- потери в форме теплового излучения стен зданий и сооружений;
- тепло удаляемых шлаков и золы уноса;
- тепло и неокислившийся углерод в материалах, сгоревших не полностью.

5. Топливо как продукция или отходы (E_f, P_f)

На рис. 1.8 поставляемое за пределы процесса топливо не отражено в качестве выходного потока энергии. Это связано с тем, что топливо учитывается как вид продукции (P_1 или P_2, хотя оно могло бы рассматриваться и как E_f), а не как поток энергии. Такой подход является стандартным в нефтепереработке и нефтехимической промышленности.

В других отраслях могут быть приняты иные подходы. Например, на некоторых хлор-щелочных производствах водород (сопутствующая продукция, образующаяся в процессе производства Cl_2 и NaOH) учитывается как поток энергии, независимо от того, используется ли он затем в качестве топлива или сырья для химического производства (при этом не учитывается водород, сжигаемый в факелах на предприятии).

Поэтому важно четко определить методику определения энергоэффективности для данной отрасли, включая правила определения потоков сырья, продукции, а также входных и выходных потоков энергии. См. также раздел 1.5.2.3, посвященный отходам и сжиганию в факелах.

6. Измерение или оценка

Уравнение 1.5 подразумевает, что нам известны величины различных потоков энергии, подводимых к технологическому процессу. Однако в контексте типичного технологического процесса не всегда измеряются объемы потребления всех энергоресурсов, включая вспомогательные (например, охлаждающей воды, сжатого воздуха, пара для турбин и подогрева трубопроводов и т.д.). Часто измеряются лишь основные входные потоки для целей управления технологическим процессом (например, пар, подводимый к подогревателю, или топливо, подаваемое в печь). Таким образом, общее энергопотребление процесса представляет собой сумму различных видов энергопотребления, некоторые из которых могут измеряться, а некоторые другие – «оцениваться». Правила оценки должны быть определены и документированы прозрачным образом. См. разделы 1.5 и 2.10.

1.4.3. Энергоэффективность предприятия

Сложное производственное предприятие может включать более одной производственной единицы или технологического процесса. Для определения энергоэффективности предприятия в целом его следует разделить на компоненты, в числе которых будут как компоненты, обеспечивающие основной технологический процесс, так и вспомогательные компоненты. Потоки энергии, связанные с деятельностью такого предприятия, могут быть схематически представлены так, как показано на рис. 1.9.

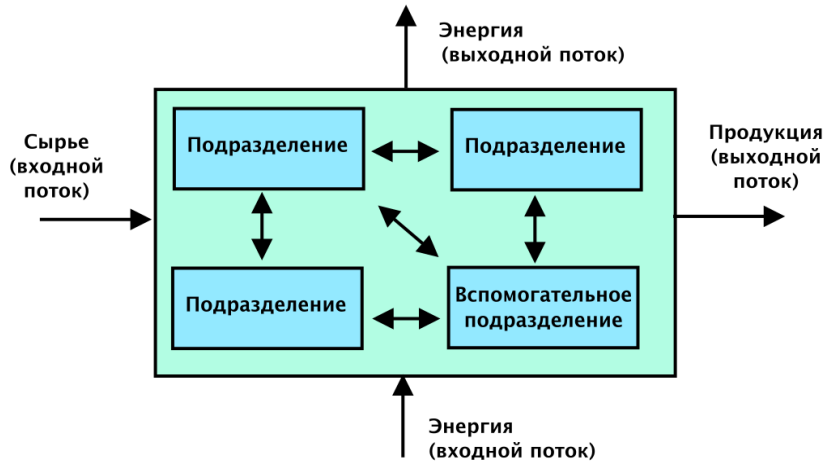


Рисунок. 1.9: Входные и выходные потоки предприятия

Производственное предприятие может выпускать различные виды продукции, каждый из которых характеризуется собственной энергоемкостью. Поэтому определение осмысленных показателей энергоэффективности для предприятия в целом не всегда представляет собой простую задачу. В частности, индекс энергоэффективности для предприятия может быть выражен как:

$$ИЭЭ = \frac{\sum_{i=подр.} P_{i,j} \cdot УЭП_{баз,j}}{Энергопотребление\ предприятия\ за\ данный\ период},$$

где:

$P_{i,j}$ – выпуск продукции вида j подразделением i за данный период;

$УЭП_{баз,j}$ – базовое УЭП для вида продукции j.

Это – та же формула, которая упоминалась в разделе 1.3.3, п. 3. Единственное отличие состоит в том, что формула, приведенная ранее, относится к производству нескольких видов продукции на одной производственной линии (с использованием одного технологического процесса), тогда как формула, приводимая в настоящем разделе, относится к производству нескольких видов продукции на нескольких производственных линиях.

Вспомогательное производство

При разделении предприятия на производственные единицы (см. раздел 2.2.2) следует принять во внимание вспомогательные производства, не выпускающие конечной продукции, таким образом, который обеспечил бы возможность анализа и учета их деятельности. Если вспомогательное подразделение поставляет ресурсы нескольких производственных единиц, оно, как правило, рассматривается в качестве отдельной производственной единицы. В зависимости от предприятия необходимые ресурсы могут как производиться вспомогательными подразделениями, так поставляться и внешней стороной, например, энергетической компанией (см. раздел 7.12).

Вспомогательное производство само по себе может быть разделено на несколько частей: например, часть, относящаяся к складскому хозяйству и погрузочно-разгрузочным работам, производство «горячих» ресурсов (например, пар, горячая вода), а также производство «холодных» ресурсов (охлаждающая вода, азот, сжатый воздух). В разделе 1.5 обсуждается определение потоков энергии, связанных с ресурсами подобного рода, в контексте первичной и вторичной энергии.

Энергопотребление предприятия с учетом энергопотребления вспомогательных подразделений определяется следующей формулой:

$$Энергопотребление\ предприятия = \sum_{i=подр.} УЭП_i \cdot P_i + энергопотребление\ вспом.\ подр.$$

где:

$\sum_{i=подр.} УЭП_i$ – сумма УЭП для i подразделений.

Различные подходы к выделению компонентов на различных предприятиях

Примером может служить гидрирование бензина, образующегося в процессе термического крекинга. Бензин является одним из видов сопутствующей продукции крекинга (и должен рассматриваться как P_2, а не как P_1 на рис. 1.8). Однако полученный таким образом бензин должен быть подвергнут гидрированию для насыщения находящихся в нем олефинов и диолефинов, а также удаления соединений серы. В большинстве случаев установка гидрирования бензина будет рассматриваться как отдельный компонент, не входящий в состав установки термического крекинга. Однако в некоторых случаях установка гидрирования является частью установки термического крекинга. В этом случае для простоты установка гидрирования может включаться в границы системы термического крекинга. Неудивительно, что система крекинга, в границы которой включена установка гидрирования, будет отличаться большим энергопотреблением по сравнению с системой, в которую не включена данная установка. Разумеется, это не означает, что энергоэффективность такой установки ниже.

Поэтому для внедрения системы менеджмента энергоэффективности на предприятии важно:

- разделить предприятие на производственные подразделения (компоненты), точно установив границу системы для каждого из этих компонентов (см. также раздел 1.5 ниже). Разделение производства на компоненты зависит от сложности данного производства; соответствующее решение принимается компанией – оператором производства в каждом конкретном случае;
- четко определить входные и выходные потоки энергии для предприятия в целом, а также потоки между различными подразделениями (блоками на рис. 1.9);
- последовательно придерживаться принятых границ в отсутствие существенных оснований для изменений, например, изменения основного или вспомогательного технологического процесса или изменения методик, принятых на уровне установки, компании или отрасли.

Это создает ясную основу для определения энергоэффективности данного производства.

1.5. Вопросы, которые должны быть рассмотрены при определении показателей энергоэффективности

В разделе 1.3 были обсуждены определения энергоэффективности, а также важные вопросы, связанные с этим понятием, в частности, первичная и вторичная энергия. В том же разделе было введено понятие энергоэффективности для ресурсов и/или систем. В разделах 1.4.2 и 1.4.3 была обсуждена разработка показателей для производственных подразделений и предприятий «сверху вниз», а также возникающие при этом проблемы.

В настоящем разделе:

- В разделе 1.5.1 обсуждается важность установления адекватных границ систем при оптимизации энергоэффективности. В разделе рассматривается влияние энергоэффективности отдельных компонентов на эффективность систем в контексте подхода «снизу вверх»;
- В разделе 1.5.2 обсуждается ряд других важных вопросов, которые следует принимать во внимание при определении энергоэффективности и разработке показателей.

1.5.1. Определение границ системы

[5, Hardell and Fors, 2005]

В нижеследующих примерах рассматриваются отдельные компоненты, подсистемы и системы, а также обсуждаются возможные подходы к оценке улучшений в энергоэффективности. Примеры основаны на типичных материалах оценки энергоэффективности в рамках компании. Они иллюстрируют эффекты слишком узкого подхода к определению энергоэффективности (на уровне отдельных компонентов или подсистемы, а не системы в целом).

Формула для определения физической энергоэффективности (КПД)[21] приведена в разделе 1.2.2.1 и приложении 7.1.1:

$$КПД\ \eta = \frac{полезное\ использование\ энергии}{общее\ потребление\ энергии}$$ (как правило, выражается в процентах)

В случае совершения работы

$$КПД\ \eta = \frac{W}{E}$$

где:

работа (W) – величина полезной работы, выполненной компонентом, системой или процессом (в джоулях);

[21] Английское словосочетание “energy efficiency” в данном контексте означает КПД (физическую энергоэффективность) оборудования или процесса, а не рациональное (или нерациональное) использование энергии. Соответствующим терминов во французском языке является “rendements énergétiques”.

энергия (E) – величина энергии, потребленной компонентом, системой или процессом (в джоулях).

$$Повышение\ (изменение)\ энергоэффективности = \frac{Изменение\ энергопотребления}{Исходное\ энергопотребление}$$

Пример: Система 1. Электродвигатель

Старый электродвигатель

Компания провела обследование существующих электроприводов. Было установлено, что мощность, потребляемая существующим электродвигателем, составляет 100 кВт. КПД двигателя равен 90% и, как следствие, его механическая мощность составляет 90 кВт (см. рис. 1.10).

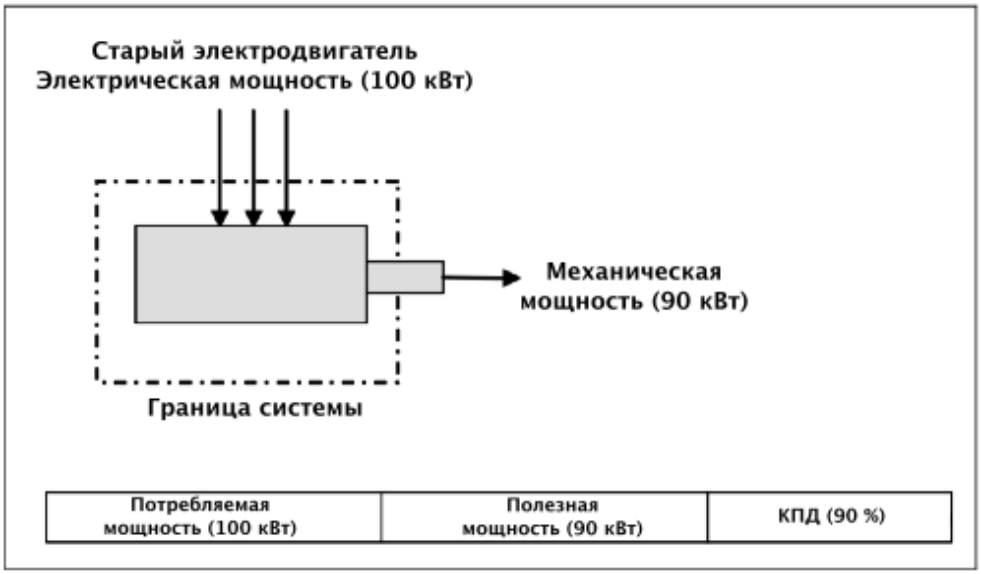


Рисунок 1.10: Границы системы – старый электродвигатель

Новый электродвигатель

С целью повышения энергоэффективности двигатель был заменен на новый с более высоким КПД. Результаты этой замены представлены на рис. 1.11. Вследствие более высокого КПД электрическая мощность, необходимая для создания требуемой механической мощности (90 кВт), составляет 96 кВт. Таким образом, повышение энергоэффективности составляет 4 кВт или:

$$повышение\ энергоэффективности = 4/100 = 4\%$$

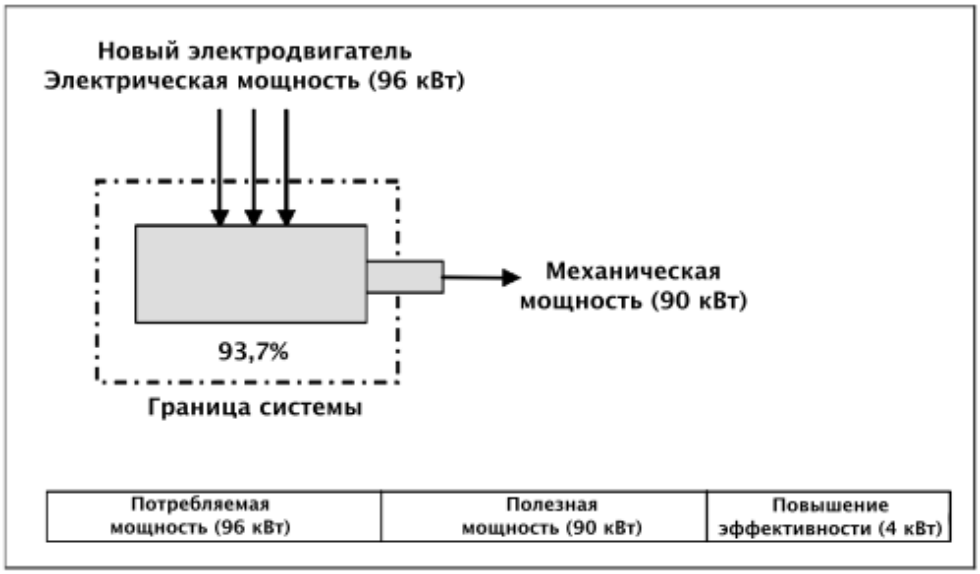


Рисунок 1.11: Границы системы – новый электродвигатель

Пример: Система 2: Электродвигатель и насос

Как показано на рис. 1.12, электродвигатель приводит в движение насос, питающий охлаждающей водой систему охлаждения. В данном примере двигатель и насос рассматриваются как единая подсистема.

Новый электродвигатель и старый насос

Полезная мощность данной подсистемы представляет собой гидравлическую мощность, обеспечивающую поток и необходимое давление охлаждающей воды. В силу низкого КПД насоса полезная мощность ограничена величиной 45 кВт.

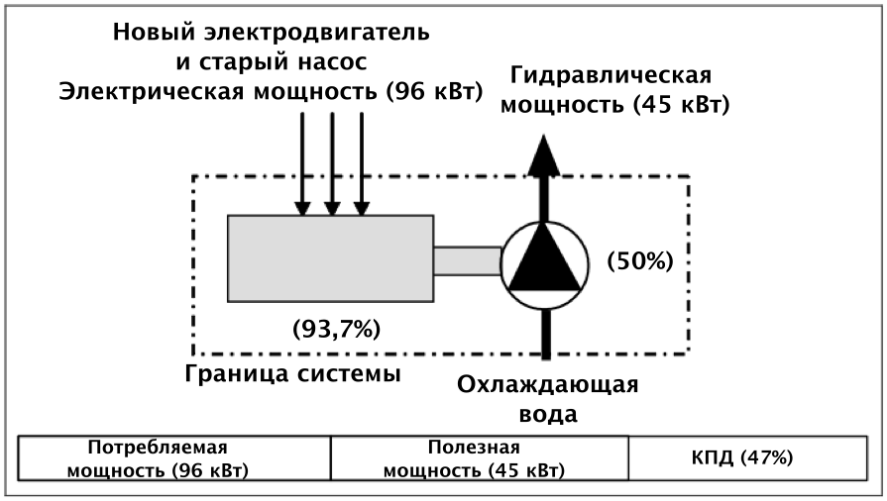


Рисунок 1.12: Границы системы – новый электродвигатель и старый насос

Новый электродвигатель и новый насос

Старый насос заменен на новый, что повысило КПД насоса с 50 до 80 %. Результаты замены представлены на рис. 1.13.

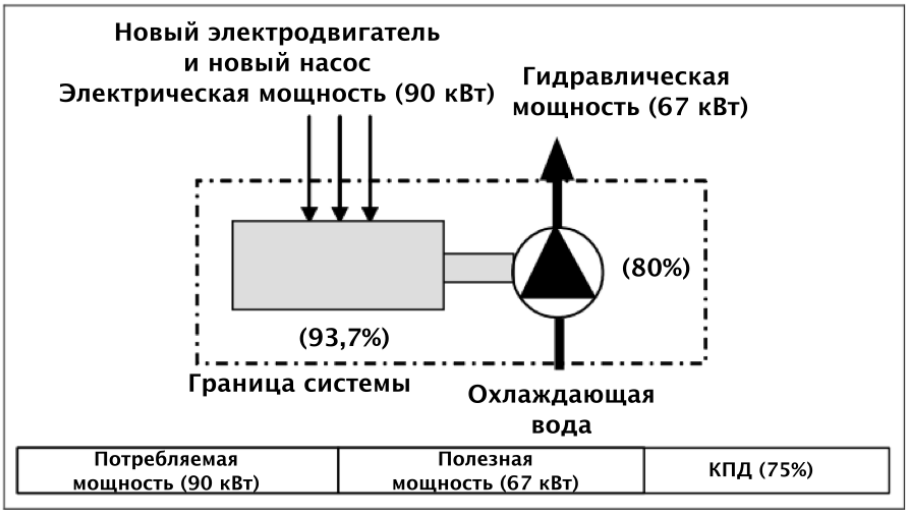


Рисунок 1.13: Границы системы – новый электродвигатель и новый насос

Энергоэффективность новой системы значительно выше, чем старой. Гидравлическая мощность на выходе увеличилась с 45 до 67 кВт. Увеличение энергоэффективности (КПД) может быть представлено как (см. раздел 1.3.1):

$$ИЭЭ = \frac{КПД}{базовый\ КПД} = \frac{75}{47} = 1{,}6$$ (т.е. энергоэффективность повысилась на 60 %)

Пример: Система 3. Новый электромотор и новый насос без увеличения гидравлической мощности на выходе

Как можно заключить из рис. 1.12, система охлаждения функционировала удовлетворительно при гидравлической мощности 45 кВт. Преимущества увеличения гидравлической мощности на 50% до 67 кВт неочевидны. Можно предположить, что избыточная мощность расходуется в виде потерь энергии на регулирующем клапане и в трубопроводной системе. Очевидно, увеличение этих потерь не было целью замены оборудования на более энергоэффективное.

Возможно, тщательное обследование системы охлаждения показало, что гидравлическая мощность 45 кВт была достаточной для нормального функционирования системы. В этом случае необходимую мощность на валу можно оценить как 45/0.8 = 56 кВт, а электрическая мощность, потребляемая двигателем, составит примерно 56/0,937 = 60 кВт.

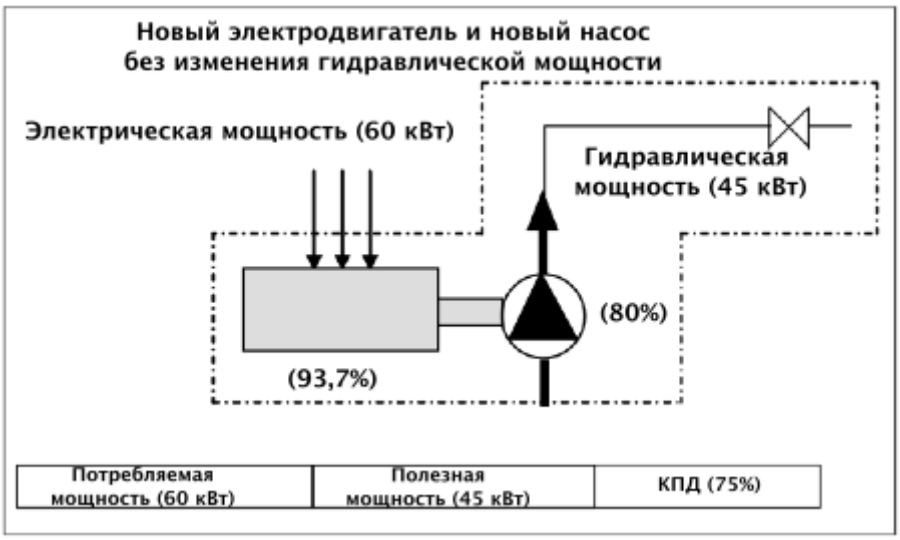


Рисунок 1.14: Новый электродвигатель и новый насос без изменения гидравлической мощности

В этом случае потребляемая системой мощность будет на 40 кВт меньше, чем до замены оборудования (см. рис. 1.10). Как и в предыдущем случае, КПД системы составляет 75 %, однако потребление энергии снижается на 40% по сравнению с системой 1 (старый двигатель и, предположительно, старый насос), и на 33% по сравнению с системой 2 (новый двигатель, новый насос).

В ходе обследования можно было бы изучить возможности для снижения производительности как двигателя, так и насоса без ущерба для работы системы охлаждения, или для снижения необходимой гидравлической мощности, например, до 20 кВт. Это могло бы привести как к сокращению капитальных затрат на оборудование, так и к повышению энергоэффективности.

Пример: Система 4. Система 3 в сочетании с теплообменником

Как показано на рис. 1.15, в этом примере границы системы были расширены, и теперь рассматриваемая подсистема включает в себя новый двигатель, новый насос, а также старый теплообменник системы охлаждения. Мощность охлаждения процесса составляет 13000 $кВт_т$ (индекс «т» означает «тепловая»).

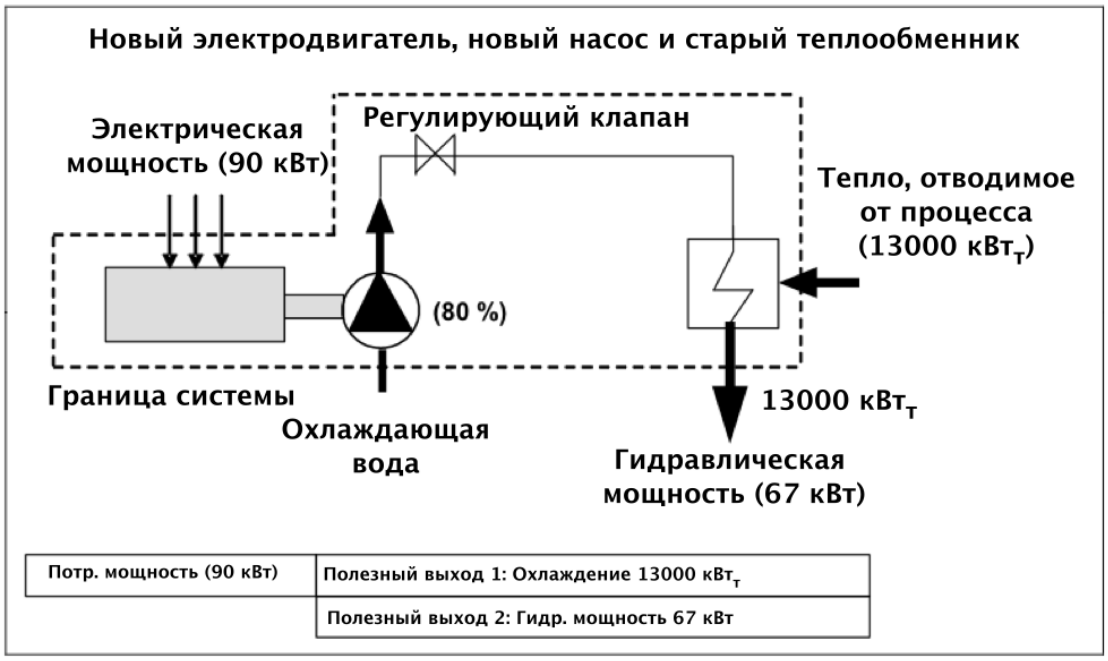


Рисунок 1.15: Новый электродвигатель, новый насос и старый теплообменник

В этом случае характеристиками производительности системы являются как количество тепла, отводимого от процесса, так и гидравлическая мощность, создаваемая насосом.

Однако если проанализировать систему с точки зрения полезной продукции или услуг (см. разделы 1.3.1 и 1.4.1), полезной функции данной системы является охлаждение. Система рассчитана на отведение 13000 кВт$_т$ тепловой мощности от процесса (или процессов). Отводимая от процесса теплота не используется в данной системе и рассеивается. Как и в случае системы 3, КПД системы, определяемый как отношение полезной и потребляемой мощности, остается на уровне 75 %. Однако, энергоэффективность данной системы может быть оценена и с точки зрения УЭП – удельного потребления энергии на определенное количество отведенного тепла (см. раздел 1.3.1):

$$УЭП = \frac{потребление\ энергии}{\sum произведенная\ продукция} = \frac{(подведенная\ энергия - полученная\ энергия)}{\sum произведенная\ продукция} =$$

$$= \frac{энергопотребление\ системы\ охлаждения}{полезная\ услуга} = \frac{90 - 67\ кВт}{13000\ кВт_т охл.} =$$

$$= 0{,}00177\ кВт / кВт_т охл. = 1{,}77\ Вт / кВт_т охл.$$

Если потребности в охлаждении сокращаются до 8000 кВт, например, вследствие снижения объемов производства, величина УЭП становится равной 2,88 Вт/кВт$_т$. Как следует из раздела 1.3.1, это означает повышение УЭП на следующую относительную величину с соответствующим снижением энергоэффективности:

$$\frac{(2{,}88 - 1{,}77)}{1{,}77} = 62\%$$

Примечание: эти расчеты не относятся к эффективности или КПД охлаждения процесса, а только к энергоэффективности системы охлаждения.

Пример: Система 5: Система 4 с утилизацией тепла

Из природоохранных соображений компанией было принято решение сократить выбросы диоксидов углерода и азота, организовав утилизацию части тепла, отводимого от процесса с охлаждающей водой, и, как следствие, сократив потребление мазута в котельной, обеспечивающей отопление помещений (см. рис. 1.16):

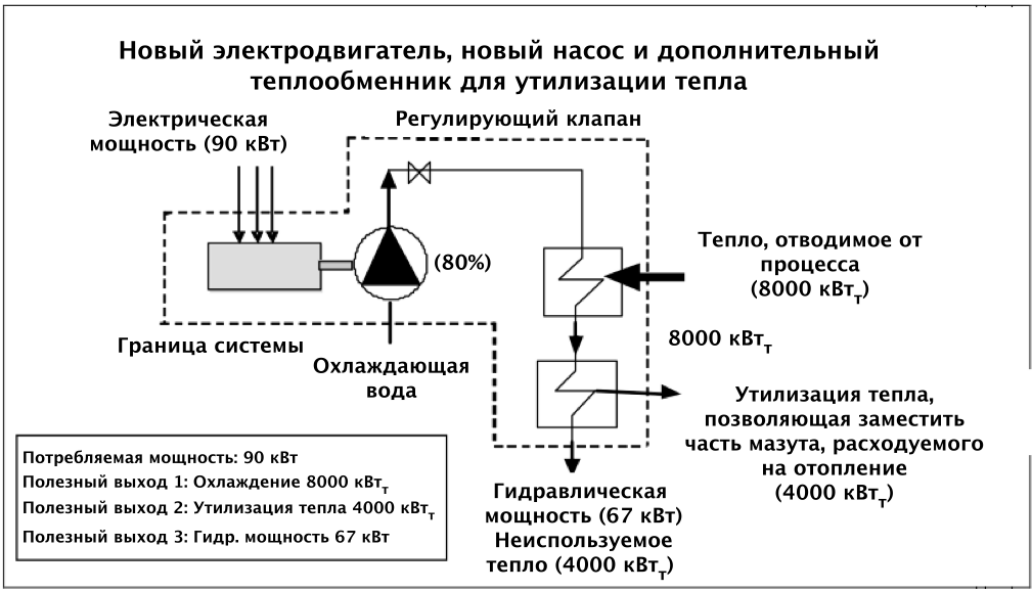


Рисунок 1.16: Новый электродвигатель, новый насос и два теплообменника

Расчет исключительно на основе входных и выходных потоков системы охлаждения дает следующие результаты:

$$\frac{энергопотребление\ системы\ охлаждения}{полезная\ услуга} = \frac{90 - 67\ кВт}{4000\ кВт_m охл.} =$$

$$= 0{,}00575\ кВт / кВт_m охл. = 5{,}75\ Вт / кВт_m охл.$$

По сравнению с аналогичными показателями для системы 4 это означает снижение энергоэффективности, в то время как энергоэффективность котельной повысится.

Очевидно, что организация утилизации тепла приводит к повышению энергоэффективности. Для количественной оценки этого повышения необходимо также рассмотрение процессов котельной, которая может сократить производство тепла в результате изменений, приведших к сокращению его потребления. Следует принять во внимание, в частности, сокращение количества используемого топлива, а также сокращение объемов утилизации тепла горячих дымовых газов котельной.

В данном случае, как и в большинстве практических ситуаций, подсистемы являются взаимосвязанными, что означает, что энергоэффективность одной системы часто влияет на энергоэффективность другой.

1.5.1.1.Выводы относительно систем и границ систем

Важно рассматривать установку как совокупность компонентов – процессов или систем. Максимальная отдача от инвестиций может быть достигнута путем рассмотрения предприятия в целом, а также его взаимосвязанных процессов или систем (см., например, общие НДТ 13 и 14, а также НДТ 81 для покраски автомобилей в Справочном руководстве BREF по обработке поверхностей с помощью органических растворителей). В противном случае (как можно видеть на примере систем 1 и 2 выше) результатом оптимизации отдельных компонентов могут стать инвестиции в оборудование неадекватного масштаба, а наиболее существенные возможности повышения энергоэффективности будут упущены.

Необходимо проанализировать потребности в данной системе или подсистеме, а также возможность выполнения ее функций (например, охлаждения, отопления) измененным или совершенно другим способом с целью повышения энергоэффективности.

При анализе процессов или систем следует:

- определить их границы и взаимодействия на адекватном уровне;

- установить конкретные полезные функции, выполняемые ими, или выпускаемую ими полезную продукцию;
- оценить процессы или системы с точки зрения существующих или будущих потребностей в этих функциях или услугах (т.е., не с точки зрения прошлых планов).

Оптимизация энергоэффективности установки в целом может означать необходимость сознательного снижения энергоэффективности одной или нескольких систем для достижения максимума общей эффективности. (При этом снижение энергоэффективности отдельной системы может быть результатом изменения каких-либо параметров, используемых в расчетных формулах, и не обязательно сопровождается увеличением энергопотребления.)

1.5.2. Другие существенные вопросы, заслуживающие рассмотрения на уровне установки

1.5.2.1. Документирование используемых подходов к отчетности

На уровне установки следует принять единый подход к отчетности (или систему соответствующих соглашений) и в дальнейшем последовательно придерживаться его. Границы систем, используемые при оценке энергоэффективности, а также любые изменения этих границ и технологического процесса должны быть отражены во внутренних и внешних базах данных наряду с временными рядами измеряемых показателей. Это облегчит интерпретацию данных и облегчит их сопоставимость между различными периодами.

1.5.2.2. Внутреннее производство и потребление энергии

В некоторых технологических процессах (например, на нефтеперерабатывающих заводах, а также в целлюлозно-бумажном производстве, где образуется черный щелок) производится топливо, которое затем используется на том же производстве. Важно учитывать энергию этого топлива при оценке энергоэффективности процесса. Например, как показано в разделе 2.2.2, на собственное энергопотребление НПЗ в форме жидкого и газообразного топлива приходится, как правило, около 4–8 % входного потока сырой нефти. Кроме того, НПЗ могут получать из внешних источников такие энергоресурсы, как электричество, пар и, в некоторых случаях, природный газ. НПЗ может быть оборудован установкой когенерации и поставлять электроэнергию внешним потребителям за счет увеличения внутреннего потребления топлива. Согласно Уравнениям 1.1. и 1.3, НПЗ, оборудованный когенерационной установкой и являющийся нетто-производителем электроэнергии, может выглядеть нетто-производителем энергии в целом.

Очевидно, это не соответствует реальному положению дел, поскольку НПЗ потребляют значительное количество энергии. Границы систем и потоки энергии следует выбирать исходя из конкретных условий установки, а затем строго придерживаться принятых решений.

1.5.2.3. Утилизация энергии отходов и газа, сжигаемого в факелах

Любой технологический процесс приводит к образованию некоторого количества твердых, жидких и/или газообразных отходов. Эти отходы могут содержать некоторое количество энергии, которая может быть утилизирована на самом предприятии или за его пределами. Твердые и жидкие отходы могут быть направлены на внешнюю мусоросжигательную установку, а отходящие газы могут сжигаться в факелах. См. раздел 3.1.5.

Отходы

Пример: ранее отходы производственного предприятия вывозились на мусоросжигательный завод другой компании. Предприятию удается изыскать способ внутреннего использования отходов, например, в качестве топлива для котлов или печей. Необходимо определить, приведет ли переход к этой практике к повышению энергоэффективности, принимая во внимание, что:

- внутреннее использование отходов сокращает потребность во топливе из внешних источников, однако общее энергопотребление объекта остается на том же уровне;

- с другой стороны, на внешнем мусоросжигательном заводе энергия сжигаемого топлива может использоваться для производства пара. В этом случае перенаправление потока отходов для внутреннего использования в качестве топлива может не привести к повышению общей энергоэффективности в рамках расширенной системы, включающей как предприятие, так и мусоросжигательный завод.

Примечание: переход к сжиганию отходов на предприятии может быть продиктован экономическими соображениями, а не соображениями энергоэффективности.

См. выводы в подразделе «Общие выводы» ниже.

Факелы

В большинстве случаев факельные системы, используемые в промышленности, являются средством обеспечения безопасности. Их основным назначением является стравливание отходящих газов и паров, образующихся на нефтеперерабатывающих и химических предприятиях, в резервуарных парках и полигонах отходов, а собственно сжигание газов играет второстепенную роль[22]. На адекватно спроектированных, эксплуатируемых и обслуживаемых предприятиях в нормальном эксплутационном режиме поток факельных сбросов находится в диапазоне от незначительного до пренебрежимо малого. Тем не менее, на большинстве предприятий, оснащенных такими системами, имеется постоянный небольшой поток факельных сбросов вследствие, например, стравливания через предохранительные клапаны или при сливе-наливе резервуаров.

Газ сжигается в факелах без какого-либо полезного использования содержащейся в нем энергии. Возможно установить систему рецикла факельных сбросов, которая направляет эти сбросы в общий поток топливного газа, используемого предприятием.

Пример: Оператор технологического процесса, где ранее не использовался рецикл факельных сбросов, принимает решение установить соответствующую систему. Это позволит сократить потребление топливного газа из внешних источников, в то время как общее потребление топливного газа данным процессом останется на том же уровне. Оператору необходимо оценить влияние системы рецикла на энергоэффективность. Важность этой задачи возрастает, если в данный процесс направляются не только его собственные факельные сбросы, но и сбросы других технологических процессов предприятия.

См. выводы в подразделе «Общие выводы» ниже

Общие выводы

Уравнение 1.5, приведенное в разделе 1.4.2.2, непосредственно не учитывает использования отходов в качестве топлива. Однако внутреннее использование отходов может сократить величину входного потока топлива ($E_{f,\ in}$). Если сжигание отходов с производством энергии осуществляется на внешнем предприятии, ситуация аналогична расчетам на основе первичной энергии (см. раздел 1.3.1) и может быть учтена аналогичным образом. Еще одна возможность – определить базовые (ориентировочные) параметры данного процесса, включая количество образующихся отходов и степень их рецикла, и отдавать предпочтение тем операторам, у которых эффективность использования отходов превышает базовые параметры. Однако если на установке не производятся значительные объемы энергосодержащих отходов (в масштабах общего энергопотребления установки), сложности, связанные с учетом всех этих соображений могут быть неоправданными с практической точки зрения.

Из вышеприведенных соображений ясна важность четкого определения подходов к учету факторов, связанных с использованием отходов, при разработке методологии определения УЭП/ИЭЭ процесса или установки. В различных отраслях могут быть приняты различные подходы и методики учета вклада внутреннего использования отходов в энергоэффективность.

[22] Исключением может являться нефтедобыча, в которой основным назначением факельных систем является сжигание попутного газа, образующегося при добыче нефти. Во всех остальных отраслях, особенно когда речь идет о токсичных газах, установка по сжиганию является более предпочтительным вариантом обращения с газообразными отходами, чем факел. Основным преимуществом факела, однако, является значительно более широкий диапазон регулирования.

Важно четко определять и документировать стандартную практику, применяемую каждой отраслью и/или компанией.

Кроме того, каждое предприятие должно ясным образом документировать практику обращения с отходами, чтобы обеспечить возможность справедливого сравнения конкурирующих технологических процессов. На уровне установки необходимо определить единый подход к отчетности и последовательно придерживаться его. Изменения должны отражаться во внутренних и внешних базах данных наряду с временными рядами измеряемых показателей для обеспечения сопоставимости между периодами.

1.5.2.4. Эффект масштаба (снижение УЭП с ростом объемов производства)

Сокращение удельного энергопотребления при увеличении объемов производства является обычным явлением и связано с двумя факторами:

- при более высоких объемах выпуска производственное оборудование используется на протяжении более длительных периодов, а периоды простоя становятся короче. Некоторые виды оборудования должны функционировать постоянно, даже в периоды, когда не производится никакой продукции. С увеличением объемов производства длительность таких непроизводительных периодов уменьшается;
- существует базовый уровень энергопотребления, не зависящий от степени загрузки производственных мощностей. Это потребление связано с энергозатратами на запуск оборудования и поддержание его необходимой температуры (даже в отсутствие всякого производства, см. раздел 1.5.2.10), использованием освещения, систем вентиляции, офисного оборудования и т.п. Энергозатраты на отопление помещений зависят, главным образом, от температуры наружного воздуха, а не от степени загрузки мощностей, как показано на рис. 1.17. При больших объемах производства эти постоянные затраты будут распределены по большему количеству единиц (тонн) продукции.

Чтобы исключить влияние степени загрузки на оцениваемую энергоэффективность предприятия или процесса, оператор может использовать поправочные коэффициенты, специфичные для отрасли, предприятия или процесса. Базовое энергопотребление предприятия или процесса также может быть рассчитано, измерено или оценено (например, посредством экстраполяции данных, полученных при различных уровнях загрузки). Эта ситуация аналогична тем, которые могут возникать при составлении финансовой отчетности; в определенных случаях балансы энергоэффективности могут сопровождаться необходимыми пояснениями и уточнениями [127, TWG].

Оператор должен вносить необходимые изменения во внутренние и внешние базы данных для обеспечения сопоставимости между периодами.

1.5.2.5. Изменения в производственных методах и характеристиках продукции

В производственные методы могут вносится изменения, например, в результате развития технологий или появления на рынке новых компонентов технических систем. Может возникнуть необходимость в замене устаревшего оборудования; с целью повышения энергоэффективности могут быть внедрены новые системы управления производством. Подобные изменения могут приводить к повышению энергоэффективности. Изменения в производственных методах, приводящие к более эффективному использованию энергии, могут рассматриваться как меры по повышению энергоэффективности. См. разделы 2.3 и 2.3.1.

В некоторых случаях к существующему технологическому процессу может добавляться дополнительное оборудование, например, для удовлетворения потребностей рынка, обеспечения соответствия продукции новым спецификациям или выполнения экологических требований. В этом случае УЭП может снизиться, поскольку новое оборудование потребляет энергию. Это не является признаком неадекватного менеджмента энергоэффективности на предприятии.

Изменения должны отражаться во внутренних и внешних базах данных наряду с временными рядами измеряемых показателей для обеспечения сопоставимости между периодами.

Примеры:

- новые спецификации производимого топлива (ограничения на содержание серы в дизельном топливе и бензине, установленные стандартом Евро-4) вынудили нефтеперерабатывающие заводы компании внести соответствующие изменения в технологический процесс. Эта деятельность, имевшая место в 2000 – 2005 гг., привела к росту энергопотребления НПЗ;
- улучшение качества волокнистой массы, используемой в целлюлозно-бумажном производстве, привело к снижению энергопотребления. Позже возникла необходимость в повышении качества конечной продукции, что потребовало более интенсивного дефибрирования. Общим итогом этих двух процессов явилось увеличение общего энергопотребления;
- металлургическая компания способна повысить прочность поставляемых стальных изделий, однако необходимые для этого усовершенствования технологического процесса ведут к росту энергопотребления. Применяя более прочную продукцию, потребители могут снизить массу стали, используемой в своих изделиях, на несколько десятков процентных пунктов. Уменьшение массы некоторых видов продукции, например, автомобилей, может приводить к снижению их энергопотребления. Однако учет энергосбережения такого рода является частью оценки жизненного цикла продукции и не входит в состав оценки энергоэффективности установки (поскольку Директива КПКЗ не охватывает вопросов оценки жизненного цикла продукции).

Изменения схемы производства

Изменения схемы производства могут включать, например, вывод из эксплуатации убыточных производственных линий, изменение конфигурации вспомогательного производства или объединение подразделений с аналогичными функциями. Стремление к повышению энергоэффективности также может быть одним из мотивов подобных изменений.

Эти изменения могут повлиять на знаменатель УЭП (общий объем продукции), и оператору следует внести необходимые изменения во внутренние и внешние базы данных для обеспечения сопоставимости между периодами.

Прекращение производства энергоемкой продукции

Компания может принять решение прекратить производство определенного вида продукции, отличающегося высокой энергоемкостью. Это приведет к снижению как общих, так и удельных энергозатрат предприятия. Компания вправе рассматривать такое решение как мероприятие по повышению энергоэффективности даже в отсутствие каких-либо дополнительных мер.

И в данном случае оператору следует внести необходимые изменения во внутренние и внешние базы данных для обеспечения сопоставимости между периодами.

Делегирование функций внешнему подрядчику (outsourcing)

Производство одного из видов вспомогательных ресурсов, например, сжатого воздуха, может быть делегировано внешнему подрядчику (см. раздел 3.7). Приобретение сжатого воздуха из внешнего источника приводит к сокращению энергопотребления предприятия с одновременным ростом энергозатрат поставщика. Значение этого изменения должно оцениваться в терминах первичной энергии (см. раздел 1.3.6.1.).

Передача отдельных этапов технологического процесса внешнему подрядчику

Компания-оператор может рассмотреть возможность передачи внешнему подрядчику энергоемких этапов технологического процесса, например, термической обработки металлических деталей. Поскольку это не отменяет необходимости в выполнении данной операции, такое решение не может рассматриваться как мероприятие по повышению энергоэффективности, и соответствующие энгергозатраты должны учитываться при расчетах, если только в методику расчета УЭП и ИЭЭ не внесены изменения, документированные надлежащим образом. Примечание: процесс специализированного подрядчика может быть более

энергоэффективным в силу лучшего знания особенностей данного процесса (что способствует оптимизации последнего), а также большего объема производства (эффект масштаба).

Пример: Компания-оператор автомобильного производства решает приобретать определенные детали у внешних поставщиков вместо самостоятельного производства этих деталей. Результатом будет снижение общих и удельных энергозатрат предприятия. Это решение должно быть принято во внимание при расчете показателей энергоэффективности и отражено в соответствующих записях.

1.5.2.6. Интеграция энергосистем

Внутреннее производство энергии

Внутреннее производство энергии (в форме электричества или пара) без увеличения потребления первичной энергии является одним их признанных способов повышения энергоэффективности. Средства оптимизации последней могут включать обмен энергией с соседними процессами и установками (или непромышленными пользователями); см. разделы 2.4, 2.12, 2.13 и 3.3. При этом должны быть определены границы систем и урегулированы возможные неоднозначности. Определение границ системы обсуждается выше в разделах 1.4 и 1.5, а расчет потребления первичной энергии – в разделе 1.3.6.1.

Использование кислорода при сжигании топлива

Кислород может использоваться при сжигании топлива на тепловых электростанциях и других предприятиях с целью повышения КПД сгорания, а также снижения расхода топлива. Кроме того, использование кислорода способствует повышению энергоэффективности в силу снижения массового потока воздуха в дымовых газах, а также сокращению выбросов NO_X. Однако производство кислорода, на предприятии или за его пределами, требует энергии, и эти энергозатраты также необходимо учитывать. Эти вопросы обсуждаются в разделе 1.3.6.1 (в связи с понятием первичной энергии), разделе 3.1.6 и приложении 7.9.5.

Интеграция процессов и разукрупнение компаний

На протяжении нескольких последних десятилетий в промышленности наблюдаются две тенденции:

- интеграция технологических процессов;
- разукрупнение компаний, особенно в химической отрасли.

Строительство производственных комплексов с высокой степенью интеграции обеспечивает значительные экономические преимущества.. В других случая рыночная стратегия состоит в разукрупнении компаний на отдельные производственные единицы. Результатом обоих процессов является возникновение сложных производственных комплексов, где присутствует множество компаний-операторов, взаимодействующих между собой. При этом энергоресурсы для такого комплекса могут производиться одной из присутствующих там компаний или приобретаться из внешних источников. Может также формироваться сложная структура потоков энергии между производствами различных компаний, находящимися на общей площадке.

В целом, подобные сложные производственные комплексы обладают значительным потенциалом эффективного использования энергии за счет интеграции энергосистем.

1.5.2.7. Неэффективное использование энергии из соображений устойчивого развития и/или повышения энергоэффективности предприятия в целом

Как было отмечено в разделах 1.4 и 1.5, определение границ систем при анализе энергоэффективности сложных производственных комплексов, подобных тем, о которых шла речь в разделе 1.5.2.6, требует особой тщательности. Подчеркивалось, что некоторые формы использования энергии, вносящие вклад в оптимизацию энергоэффективности производства в целом, рассматриваемого как единый комплекс, могут выглядеть неэффективными при анализе отдельного технологического процесса. Если по соображениям максимальной конкурентоспособности производства в целом работа некоторых подразделений, а также компаний-операторов отдельных процессов или систем с максимальной эффективностью

нецелесообразна, таким подразделениям или компаниям могут предоставляться экономические компенсации.

В качестве примеров можно привести следующие ситуации:

- использование пара в процессе сушки представляется менее энергоэффективным, чем непосредственное использование природного газа в качестве топлива. Однако пар низкого давления может производиться наряду с электроэнергией в процессе когенерации, обладающим высоким общим КПД (см. разделы 3.4 и 3.11.3.2);
- когенерационная станция, находящиеся на площадке компании, не всегда полностью принадлежит последней. Такая станция может быть совместным предприятием с местной генерирующей компанией. При этом производимый пар принадлежит компании-оператору площадки, а электроэнергия – генерирующей компании. Поэтому учет таких объектов при анализе энергоэффективности требует особой тщательности;
- энергия производится и потребляется в пределах одной площадки; при этом снижаются потери энергии при передаче;
- в рамках тесно интегрированной производственной системы содержащие энергию выходные потоки технологического процесса, возвращаются в энергетический цикл. В качестве примеров можно привести возвращение отработанного пара в паровую сеть предприятия, а также использование водорода, образующегося в процессе электролиза, в качестве топливного газа при производстве тепла и/или электроэнергии, а также в качестве сырья для химического производства (например, для производства перекиси водорода). Другие примеры включают сжигание отходов производства в котлах предприятия, а также использование в качестве топлива отходящих газов, имеющих меньшую теплоту сгорания, чем, например, природный газ (например, углеводородных газов на НПЗ или CO в цветной металлургии). См. раздел 3.1.6.

Использование возобновляемых/устойчивых источников энергии и видов топлива можно способствовать сокращению общего объема выбросов CO_2 в атмосферу, хотя эти вопросы выходят за пределы настоящего Руководства (см. «Область применения»). Эти эффекты могут быть учтены при помощи углеродного баланса, см. раздел 1.3.6.1 и приложение 7.9.6.

1.5.2.8. Отопление и охлаждение помещений

Энергозатраты на отопление и охлаждение помещений существенным образом зависят от температуры наружного воздуха, как показано на рис. 1.17.



Рисунок 1.17: Зависимость энергозатрат на отопление от температуры наружного воздуха

В результате принятия таких мер, как утилизация тепла, отходящего из системы вентиляции, или улучшение теплоизоляции зданий линия на рис. 1.17 сдвигается вниз.

Таким образом, энергозатраты на отопление или охлаждение помещений практически не зависят от объема производства и составляют часть постоянного энергопотребления (см. раздел 1.5.2.4.).

1.5.2.9. Региональные факторы

Энергозатраты на отопление и охлаждение (см. раздел 1.5.2.8 выше) представляют собой пример факторов энергоэффективности, носящих региональный характер. Как правило, потребности в отоплении выше на севере Европы, а в охлаждении – на юге. Это влияет на объемы энергопотребления – например, зимой на финских предприятиях по переработке отходов требуется дополнительная энергия для поддержания надлежащей температуры отходов, а сохранение свежести пищевых продуктов требует больше тепла в Южной Европе.

Региональные и местные вариации климата накладывают и другие ограничения на энергоэффективность. Например, типичный КПД угольных котлов в Северной Европе составляет около 38 %, а в Южной Европе – около 35 %; КПД систем охлаждения мокрого типа зависит от температуры наружного воздуха и т.д.

1.5.2.10. Явная теплота

Тепловая энергия, подведение иле отведение которой проявляется в форме изменения температуры, называется «явной теплотой» (англ. «sensible heat», буквально – «ощутимая теплота»), хотя в последнее время этот термин выходит из употребления, 3.1. Например, тепловая энергия, используемая для подогрева входных потоков нефтеперерабатывающего завода до температуры 104.4°C, представляет собой явную теплоту.

1.5.2.11. Дальнейшие примеры

В приложении 7.3 приведены дополнительные примеры анализа энергоэффективности для следующих технологических процессов:

- пример 1: производство этилена методом крекинга;
- пример 2: производство мономера винилацетата;
- пример 3: стан горячей прокатки на металлургическом комбинате.

Эти примеры иллюстрируют следующие факторы и аспекты энергоэффективности:

- разнообразные и сложные производства;
- сложные потоки энергии;
- несколько видов энергосодержащей продукции;
- эффективность использования электроэнергии в зависимости от объема производства;
- отраслевой показатель энергоэффективности (энергоемкости) для нефтеперерабатывающих производств – показатель, предложенный компанией Solomon Associates (см. приложение 7.9.1).

2. Технологии, которые следует рассматривать для обеспечения энергоэффективности на уровне установки

[9, Bolder, 2003, 89, European Commission, 2004, 91, CEFIC, 2005, 92, Motiva Oy, 2005, 96, Honskus, 2006, 108, Intelligent Energy - Europe, 2005, 127, TWG]

В главах 2 и 3 применяется иерархический подход:

- В главе 2 описаны технологии (технические методы), которые могут применяться на уровне установки в целом для достижения максимальной энергоэффективности;
- В главе 3 описаны технологии (технические методы), которые могут применяться на уровнях ниже уровня установки[23]: прежде всего, на уровне энергопотребляющих систем (например, систем сжатого воздуха или паровых систем), а затем на уровне отдельных энергопотребляющих компонентов и единиц оборудования (например, двигателей).

В этих двух главах представлены как подходы к совершенствованию систем менеджмента, так и методы интеграции процессов, а также конкретные меры технического характера. Однако в практической деятельности по оптимизации энергоэффективности все эти методы используются совместно и тесно взаимосвязаны друг с другом. Многие примеры комплексного подхода демонстрируют применение всех трех типов мер. Это осложняет четкое разграничение методов при их описании и делает границы между ними до некоторой степени условными.

Перечни технических методов и инструментов, приводимые в настоящей главе и главе 2, не являются исчерпывающими. Другие методы, столь же приемлемые в контексте КПКЗ и НДТ, могут существовать в настоящее время или быть разработаны в будущем. Методы, предлагаемые в настоящей главе и в главе 3, могут использоваться по отдельности или в сочетании друг с другом; информация, приводимая в главе 1, предназначена для поддержки внедрения этих методов, отвечающего целям КПКЗ.

По возможности, при описании каждого метода в настоящей главе и главе 3 используется стандартная структура, представленная в таблице 2.1. Эта же структура используется при описании рассматриваемых систем, например, системы менеджмента энергоэффективности (на уровне установки) или систем обеспечения сжатым воздухом и паром (на более низких уровнях).

Категория	Приводимая информация
Общая характеристика	Краткое описание предлагаемого метода повышения энергоэффективности с иллюстрациями, схемами и графиками
Экологические преимущества	Основные экологические преимущества, подтвержденные данными о выбросах/сбросах и потреблении ресурсов. В контексте данного документа, прежде всего, данные о повышении энергоэффективности, но также и другая информация о сокращении выбросов/сбросов загрязняющих веществ и снижении потребления ресурсов
Воздействие на различные компоненты окружающей среды	Любые побочные эффекты и негативные воздействия, затрагивающие те или иные компоненты окружающей среды, в результате применения предлагаемого метода. Информация об экологических проблемах, связанных с применением данного метода, в сравнении с другими методами
Производственная информация	Производственные характеристики метода (технологии), отражающие потребление энергии и других ресурсов (сырья и воды), а также выбросы/сбросы и образование отходов. Любая другая информация, относящаяся к внедрению и использованию технологии, а также управлению ей, включая аспекты безопасности, эксплуатционные ограничения, качество продукции и т.д.
Применимость	Факторы, определяющие применимость метода, в том числе при внедрении на существующих предприятиях (например, необходимые площади, специфичность для определенных производственных процессов, другие ограничения или неблагоприятные эффекты, связанные с использованием метода)

[23] О значении термина «установка» в контексте Директивы КПКЗ см. примечание к разделу 6 Предисловия. (*Прим. пер.*)

Экономические аспекты	Сведения о затратах (капитальных и эксплуатационных) и объемах энергосбережения (в денежных единицах или кВт·ч для тепловой и/или электрической энергии), связанных с применением метода (технологии), а также других формах экономии (например, сокращение потребления сырья или платежей за образование отходов), в т.ч. на единицу производительности технологии
Мотивы внедрения	Возможные мотивы (помимо Директивы КПКЗ) для внедрения метода (например, законодательные требования, добровольные обязательства, экономические соображения)
Примеры	Ссылка, как минимум, на один случай, в котором сообщалось о внедрении метода (технологии)
Справочная информация	Источники сведений, использованных при подготовке раздела, а также источники дополнительной информации

Таблица 2.1. Структура описания систем и методов в главах 2 и 3

2.1. Системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ)

Общая характеристика

Все промышленные компании могут добиться экономии энергии, применяя те же самые рациональные принципы и методы, которые они используют в других областях своего бизнеса при управлении такими ключевыми ресурсами, как финансы, сырье и персонал, а также воздействием на окружающую среду, безопасностью и здоровьем персонала. Эти подходы к менеджменту подразумевают полную ответственность руководства организации за использование энергии. Управление энергопотреблением и соответствующими затратами позволяет сократить потери и обеспечивает экономию, объем которой накапливается с течением времени.

Следует отметить, что некоторые методы менеджмента в сфере энергопотребления обеспечивают финансовую экономию, но не приводят к физическому снижению энергопотребления (см. раздел 7.11).

Как правило, наилучшие экономические результаты достигаются посредством внедрения наилучшей технологии и ее эксплуатации наиболее результативным и эффективным способом. Директива КПКЗ признает этот факт, давая следующее определение «технического метода» (technique): *«как используемая технология, так и способ проектирования, строительства, технического обслуживания, эксплуатации и вывода из эксплуатации установки»*.

Операторы установок КПКЗ могут использовать систему экологического менеджмента (СЭМ) в качестве инструмента, позволяющего управлять соответствующими аспектами проектирования, строительства, технического обслуживания, эксплуатации и вывода из эксплуатации систематическим образом, допускающим демонстрацию результативности внешним сторонам. СЭМ включает организационную структуру, распределение ответственности, практические подходы, процедуры, процессы и ресурсы, используемые для разработки, реализации, поддержания, оценки и мониторинга реализации экологической политики. Системы экологического менеджмента функционируют наиболее результативным и эффективным способом в том случае, когда они образуют органичную часть общей системы менеджмента установки и деятельности последней.

Аналогичным образом, деятельность в области менеджмента, направленная на повышение энергоэффективности, требует постоянного внимания к вопросам использования энергии на предприятии с целью последовательного сокращения потребления последней и повышения энергоэффективности основного производства и вспомогательных процессов, а также закрепления достигнутых результатов как на уровне компании, так и на уровне производственного объекта. Соответствующая система менеджмента предоставляет структуру и основу для оценки существующего уровня энергоэффективности, определения возможностей для улучшения и обеспечения постоянного улучшения. Все действенные стандарты, программы и руководства в области менеджмента энергоэффективности (а также экологического менеджмента) содержат понятие постоянного улучшения (continuous improvement), подразумевающее, что менеджмент энергоэффективности является процессом, а не проектом, осуществление которого рано или поздно подходит к концу.

Системы менеджмента могут быть организованы различными способами, однако в большинстве случаев в их основе лежит принцип «планирование–осуществление–проверка–корректировка» (plan–do–check–act), который широко используется и в других сферах корпоративного менеджмента. Этот принцип представляет собой динамическую модель циклического характера, в которой завершение одного цикла становится началом следующего (см. рис. 2.1).



Рисунок 2.1: Постоянное улучшение в контексте системы менеджмента энергоэффективности

[92, Motiva Oy, 2005]

Наилучшая результативность достигается при применении систем менеджмента энергоэффективности, имеющих следующие составляющие (источник: Матрица энергетического менеджмента, [107, Good Practice Guide, 2004]):

энергетическая политика – энергетическая политика, планы действий, а также регулярный анализ и оценка системы являются частью обязательств высшего руководства в рамках общей экологической стратегии;

организация – менеджмент энергоэффективности полностью интегрирован в общую систему менеджмента организации. Четкое распределение ответственности в сфере энергопотребления;

мотивация – официальные и неофициальные каналы коммуникации регулярно используются менеджерами и персоналом, ответственными за энергопотребление и энергоэффективность на всех уровнях;

информационные системы – всеобъемлющая система, охватывающая постановку задач, мониторинг энергопотребления, выявление недостатков, количественную оценку энергосбережения, а также соответствующий бюджет;

маркетинг – продвижение средствами маркетинга ценности энергоэффективности и результативности менеджмента энергоэффективности как внутри организации, так и за ее пределами;

инвестиции – позитивная дискриминация (предпочтение) в пользу «зеленых» схем с детальным инвестиционным анализом всех возможностей для нового строительства и модернизации существующих мощностей.

Из сказанного следует, что система менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ) установки КПКЗ должна включать следующие компоненты:

a. обязательства высшего руководства;

b. разработка и принятие политики энергоэффективности;

c. планирование, а также определение задач;

d. внедрение и соблюдение процедур;

e. сравнительный анализ энергоэффективности установки;

f. проверки и корректирующие действия;

g. анализ и оценка системы со стороны руководства;

h. подготовка периодической декларации об энергоэффективности;

i. подтверждение сертифицирующим органом или другой организацией, осуществляющей внешнее подтверждение СМЭЭ;

j. учет соображений, связанных с выводом установки из эксплуатации, при проектировании;

k. разработка энергоэффективных технологий.

Все эти элементы обсуждаются ниже в этом разделе. Ссылки на дополнительные источники по элементам (a)–(k) приведены ниже в подразделе «Справочная информация». Конкретные примеры приведены в приложении 7.4.

a. Обязательства высшего руководства

Обязательства высшего руководства являются необходимой предпосылкой успешного менеджмента энергоэффективности. Высшему руководству следует:

- включить энергоэффективность в число наивысших приоритетов компании, обеспечивать внимание к ней и понимание ее значимости;
- назначить одного представителя высшего руководства, ответственного за вопросы энергоэффективности (это не обязательно должен быть главный энергетик предприятия, по аналогии с системами менеджмента качества);
- содействовать формированию культуры энергоэффективности и поддерживать необходимые движущие силы для функционирования системы;
- выработать стратегию (долгосрочное видение) обеспечения энергоэффективности в общем контексте целей комплексного предотвращения и контроля загрязнения;
- определить задачи компании по достижению поставленных целей в сфере энергоэффективности в общем контексте целей КПКЗ;
- определить краткосрочные и среднесрочные действия, направленные на реализацию долгосрочного видения;
- предоставить платформу для комплексного подхода к принятию решений, призванного обеспечить комплексное предотвращение загрязнения окружающей среды в сочетании с энергосбережением, в особенности, при планировании строительства новых установок или существенной модернизации;
- направлять компанию при принятии решений об инвестициях и закупках таким образом, чтобы обеспечивать комплексное предотвращение загрязнения в сочетании с энергосбережением на постоянной основе. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения достигаются посредством комплексного подхода к принятию решений и деятельности, включая закупку необходимых ресурсов и капитального оборудования, планирование, производственную деятельность, техническое обслуживание, а также экологический менеджмент;
- сформулировать политику энергоэффективности, см. (b) ниже.

b. Разработка и принятие политики энергоэффективности

Высшее руководство несет ответственность за выработку политики энергоэффективности (энергетической политики) установки. При этом политика должна:

- соответствовать характеру деятельности установки (включая такие местные условия, как, например, климат), а также масштабу деятельности и связанному с ней энергопотреблению установки;

- включать обязательство стремиться к повышению энергоэффективности;
- включать обязательство соответствовать всем применимым законодательным и другим нормативным требованиям, имеющим отношение к энергоэффективности, а также прочим обязательствам (включая энергетические соглашения), принятым на себя организацией;
- обеспечивать рамки для постановки и пересмотра целей и задач в области энергоэффективности;
- быть документирована и доведена до сведения всех сотрудников;
- быть доступна для общественности и всех заинтересованных сторон.

c. Планирование и установление целей и задач (см. раздел 2.2)

- процедуры выявления аспектов энергоэффективности установки и поддержания актуальности соответствующей информации;
- процедуры оценки предложений о внедрении новых процессов и оборудования, создании новых подразделений, модернизации, реконструкции и техническом перевооружении с целью выявления аспектов энергоэффективности, а также влияния на процессы планирования и закупок в направлении оптимизации энергоэффективности и КПКЗ;
- процедуры выявления и правовых и иных требований, применимых к организации и имеющих отношение к аспектам энергоэффективности ее деятельности, а также процедуры обеспечения доступности соответствующих требований;
- установление и пересмотр документированных целей и задач в сфере энергоэффективности, учитывающих правовые и иные требования к деятельности организации, а также позиции заинтересованных сторон;
- разработка и регулярное обновление программы менеджмента энергоэффективности, включающей определение ответственных за достижение целей и выполнение задач на всех уровнях и во всех функциональных направлениях, где это имеет смысл, а также определение средств и временных рамок для достижения целей и выполнения задач.

d. Разработка и соблюдение процедур

Организация должна поддерживать системы, обеспечивающие знание, понимание и соблюдение процедур. Поэтому результативный менеджмент энергоэффективности включает следующие компоненты:

(i) организационная структура и ответственность:

- определение, документирование, отражение в отчетности и доведение до сведения сотрудников функций, распределения ответственности и полномочий в сфере энергоэффективности, включая назначение одного конкретного представителя руководства (в дополнение к представителю руководства, упомянутому в п. (a) выше);
- выделение ресурсов, необходимых для функционирования и администрирования системы менеджмента энергоэффективности, включая человеческие ресурсы, обладающие необходимой специальной квалификацией, а также технические и финансовые ресурсы;

(ii) обучение, обеспечение осведомленности и компетентности:

- выявление потребностей в обучении с целью обеспечения того, чтобы все сотрудники, деятельность которых может существенно повлиять на энергоэффективность установки, прошли надлежащее обучение (см. раздел 2.6);

(iii) информационный обмен:

- определение и поддержание процедур внутреннего информационного обмена (коммуникаций) между различными уровнями управления и функциональными направлениями в пределах установки. Особенно важно, чтобы процедуры информационного обмена были установлены для всех лиц и групп, чья деятельность может повлиять на энергоэффективность организации, прежде всего, ответственных за

- определение процедур, направленных на поддержание диалога с внешними заинтересованными сторонами, и процедур получения и документирования соответствующих обращений от внешних заинтересованных сторон, а также ответа на эти обращения в тех случаях, когда это является разумным (см. раздел 2.7);

(iv) участие сотрудников:

- вовлечение сотрудников в процесс повышения энергоэффективности посредством адекватных форм участия, например, системы книг предложений, рабочих групп по конкретным проектам или экологических комитетов (см. раздел 2.7);

(v) документирование:

- документирование в бумажной или электронной форме и поддержание в актуальном состоянии информации, описывающей ключевые элементы системы менеджмента и их взаимосвязь, а также содержащей ссылки на соответствующую документацию;

(vi) эффективный контроль производственных процессов (см. раздел 2.8):

- адекватный контроль производственных процессов на всех этапах и во всех режимах, включая подготовительные операции, запуск, штатную эксплуатацию, остановку, а также деятельность в нештатных условиях;
- выявление ключевых параметров, влияющих на эффективность технологических процессов, а также методов, позволяющих измерять и контролировать эти параметры (например, массовый расход и состав входных потоков, давление, температура, производительность);
- оптимизация этих параметров с точки зрения энергоэффективности;
- документирование и анализ нештатных ситуаций и условий с целью выявления и последующего устранения их глубинных причин для предотвращения повторения подобных ситуаций в будущем (этому может способствовать организационная культура, не носящая «обвинительного» характера, в условиях которой выявление причин нештатной ситуации является более важным, чем «назначение» конкретных виновников);

(vii) техническое обслуживание (см. раздел 2.9):

- формирование структурированной программы технического обслуживания, основанной на технической документации оборудования, нормативах и т.д., а также данных о любых отказах оборудования и их последствиях;
- поддержка программы технического обслуживания посредством надлежащей системы ведения записей и диагностических проверок;
- выявление возможных причин снижения энергоэффективности и возможностей для ее повышения на основе результатов планового технического обслуживания, а также отказов и случаев нештатного функционирования оборудования;
- четкое распределение ответственности за планирование и осуществление технического обслуживания;

(viii) готовность к чрезвычайным ситуациям:

- учет энергопотребления, связанного с восстановлением или переработкой сырья или продукции, пострадавших в результате чрезвычайных ситуаций.

e. Сравнительный анализ

- систематическое и регулярное сопоставление с отраслевыми, национальными и региональными ориентирами (дополнительная информация по данному вопросу приведена в разделе 2.16).

f. Проверки и корректирующие действия (см. также п. (e) «Сравнительный анализ» выше):

(i) мониторинг и измерения (см. раздел 2.10):

- внедрение и поддержание в рабочем состоянии документированных процедур регулярного мониторинга и измерения ключевых характеристик производственного процесса и других видов деятельности, которые могут оказывать значительное влияние на энергоэффективность, а также фиксация полученных данных для целей оценки результативности, адекватного контроля производственного процесса и обеспечения выполнения целей и задач установки в сфере энергоэффективности;
- внедрение и поддержание в рабочем состоянии документированной процедуры периодической оценки соответствия требованиям законодательства, подзаконных актов и добровольных соглашений (если таковые существуют) в сфере энергоэффективности;

ii) корректирующие и предупреждающие действия:

- внедрение и поддержание в рабочем состоянии процедур распределения ответственности и определения полномочий по выявлению и устранению несоответствий условиям разрешения, другим правовым требованиям и обязательствам, а также целям и задачам организации, осуществлению действий, направленных на смягчение любых последствий несоответствия, а также по инициированию и осуществлению корректирующих и предупреждающих действий, соответствующих масштабу проблем и соразмерных влиянию последних на энергоэффективность;

(iii) ведение записей и отчетность:

- внедрение и поддержание в рабочем состоянии процедур по определению содержания, ведению и хранению удобочитаемых, идентифицируемых и прослеживаемых записей в сфере энергоэффективности, включая записи об обучении сотрудников, а также результатах аудитов и оценок;
- организация регулярной отчетности о прогрессе в выполнении поставленных задач в сфере энергоэффективности назначенному лицу или лицам;

(iv) энергоаудит и энергетическая диагностика (см. раздел 2.11):

- разработка и поддержание в рабочем состоянии программы и процедур периодического аудита СМЭЭ, осуществляемого беспристрастно и объективно сотрудниками организации (внутренний аудит) или внешними сторонами (внешний аудит) и включающего интервьюирование персонала, инспекции эксплуатационных условий и оборудования, анализ записей и документации, а также подготовку письменного отчета. Указанные программа и процедуры должны определять область аудита, его периодичность и методику, распределение ответственности, а также требования к проведению аудита и отчетности по его результатам. Целью аудита является оценка соответствия функционирования СМЭЭ предусмотренным требованиям и планам, а также того, насколько адекватно система внедрена и поддерживается в рабочем состоянии;
- осуществление аудита или цикла аудитов таким образом, который соответствует характеру, масштабу и сложности деятельности и самого аудита, значимости энергопотребления установки и связанного с ним воздействия на окружающую среду, значимости и остроте проблем, выявленных в ходе предшествующих аудитов, а также истории любых случаев неэффективного использования энергии и связанных с этим проблем в прошлом – сложная деятельность с масштабным воздействием на окружающую среду требует более частой организации аудитов;
- наличие адекватных механизмов, обеспечивающих принятие мер по итогам аудита;

(v) периодическая оценка соответствия требованиям законодательства, соглашений и т.д.:

- оценка соответствия применимым нормативно-правовым актам в сфере энергоэффективности, условиям экологического разрешения (разрешений) на деятельность установки, а также любых соглашений в сфере энергоэффективности;
- документирование оценки соответствия.

g. Оценка со стороны руководства

- оценка СМЭЭ со стороны высшего руководства с периодичностью, устанавливаемой последним, с целью обеспечения постоянной адекватности и результативности системы, а также ее соответствия потребностям установки (см. раздел 2.5)
- обеспечение сбора информации, необходимой руководству для выполнения оценки;
- документирование анализа и оценки.

h. Подготовка периодической декларации об энергоэффективности

- подготовка декларации об энергоэффективности установки, уделяющей особое внимание сопоставлению достигнутых результатов с поставленными целями и задачами в области энергоэффективности. Декларация готовится периодически – раз в год или реже, в зависимости от значимости энергопотребления установки и других факторов. При подготовке декларации учитываются информационные потребности значимых заинтересованных сторон; подготовленная декларация является свободно доступной (например, в электронном виде, в библиотеках и т.д.) с учетом соображений, изложенных в подразделе «Применимость» (ниже).

При подготовке декларации компания-оператор может использовать существующие показатели энергоэффективности, уместные для этой цели, при условии, что выбранные показатели:

- дают точную картину результативности установки;
- являются понятными и недвусмысленными;
- допускают сопоставление с данными за другие периоды, что позволяет оценивать динамику энергоэффективности установки;
- допускают сопоставление с соответствующими отраслевыми, национальными или региональными ориентирами;
- допускают сопоставление с применимыми нормативными требованиями.

i. Подтверждение сертифицирующим органом или другой организацией, осуществляющей внешнее подтверждение СМЭЭ:

- анализ и подтверждение качества СМЭЭ, процедуры аудита, а также политики энергоэффективности аккредитованным сертифицирующим органом или другой внешней организацией способны повысить уровень доверия к системе при условии надлежащего осуществления этих процедур (см. подраздел «Применимость» ниже).

j. Учет соображений, связанных с выводом установки из эксплуатации, при проектировании

- рассмотрение воздействия на окружающую среду, связанного с выводом из эксплуатации, при проектировании нового предприятия позволяет сделать последующий вывод из эксплуатации более легким, дешевым и безопасным для окружающей среды;
- результатом вывода предприятия из эксплуатации являются экологические риски, связанные с загрязнением почв (а также грунтовых и подземных вод) и, во многих случаях, образование большого количества твердых отходов. Конкретные методы предупреждения подобных последствий зависят от особенностей предприятия или процесса, однако при выборе методов повышения энергоэффективности могут быть приняты во внимание следующие возможные подходы общего характера:
    - отказ от использования подземных сооружений;
    - применение проектных решений, облегчающих демонтаж оборудования и сооружений;
    - использование для покрытия поверхностей материалов, которые легко очищаются и обезвреживаются;

- применение конфигураций оборудования, позволяющих минимизировать накопление химических веществ, способствуя их отведению или смыву;
- проектирование гибких, автономных производственных единиц, что позволяет поэтапный вывод предприятия из эксплуатации;
- применение биоразлагаемых или пригодных для повторного использования материалов там, где это возможно;
- отказ от использования опасных веществ там, где возможна их замена (например, в электроизоляционных или теплообменных жидкостях). В случае использования опасных материалов, адекватная организация управления рисками в процессе эксплуатации, технического обслуживания и вывода из эксплуатации.

k. Разработка энергоэффективных технологий

- учет соображений, связанных с энергоэффективностью, должен быть неотъемлемой составляющей любой деятельности компании-оператора по проектированию процессов, поскольку интеграция методов повышения энергоэффективности на ранних стадиях проектирования является как более результативной, так и менее затратной (см. раздел 2.3). Деятельность по разработке энергоэффективных технологий может вестись, например, в рамках НИОКР. В качестве альтернативы внутренним разработкам организация может достичь соглашения с другими операторами или научно-исследовательскими организациями, работающими в данной области, об использовании их передовых разработок или, там, где это уместно, выступить заказчиком таких разработок.

Экологические преимущества

Внедрение СМЭЭ наряду со следованием принципам и процедурам системы позволяет оператору сосредоточить внимание на результативности установки в области энергоэффективности. В частности, разработка и соблюдение ясных эксплуатационных процедур как для штатных, так и для нештатных условий, а также наличие соответствующей организационной структуры и распределения ответственности должны способствовать обеспечению постоянного соответствия установки требованиям разрешения, а также другим целям и задачам в сфере энергоэффективности.

Как правило, система менеджмента энергоэффективности позволяет обеспечить постоянное улучшение результативности установки в сфере энергоэффективности. Чем ниже исходная результативность, тем более значительных улучшений можно ожидать в краткосрочной перспективе. Если установка уже характеризуется высоким общим уровнем результативности в сфере энергоэффективности, наличие системы позволяет поддерживать этот высокий уровень.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Методы обеспечения энергоэффективности должны разрабатываться с учетом других экологических целей и общего воздействия на окружающую среду, что соответствует комплексному подходу Директивы КПКЗ. Однако, поскольку в повышение энергоэффективности является лишь одной из значимых целей, достижение других целей может потребовать некоторого ее снижения (например, в тех случаях, когда экономия сырья, повышения качества продукции или сокращение выбросов требуют дополнительных затрат энергии). Эти вопросы подробнее обсуждаются в Справочном документе по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Производственная информация

Конкретные данные отсутствуют. См. примеры ниже.

Применимость

1. Компоненты системы

Описанные выше компоненты, как правило, могут применяться в контексте любых установок КПКЗ. Особенности конкретной системы (например, уровень детальности менеджмента), а также общий ее характер (например, внедряется ли система на основе какого-либо стандарта), как правило, определяется характером, масштабом и уровнем сложности установки, ее

энергопотреблением, а также другими возможными видами воздействия установки на окружающую среду. Например:

- на небольшой установке функции представителей руководства, упоминаемых в пп. 2.1(a) и 2.1(d)(i) может выполнять одно и то же лицо;
- политика энергоэффективности установки (см. п. 2.1(b)) может быть опубликована как часть экологической политики организации или в составе отчета о корпоративной социальной ответственности;
- следует также принимать во внимание другие факторы, например, законодательство, регулирующее вопросы конкуренции и конфиденциальности информации (см. п. 2.1(h)). Публикуемые данные об энергоэффективности могут быть выражены в форме относительных величин (например, снижение энергопотребления на Y% по сравнению с годом X, энергопотребление в котором принято за 100%) или укрупнены по всем установкам, находящимся на данной площадке или принадлежащим данной компании (см. раздел 1.3 и примеры в приложении 7.4).

2. СЭМ и/или СМЭЭ, основанные или не основанные на стандартах

В Европейском Союзе многие организации приняли решение о добровольном внедрении системы менеджмента энергии (энергоэффективности). Возможны следующие подходы к внедрению такой системы:

- добавление требований, относящихся к энергоэффективности, к существующей системе менеджмента – как правило (но не исключительно), к системе экологического менеджмента (следует отметить, что стандарты СМЭЭ, перечисляемые в следующем пункте, разработаны таким образом, чтобы сделать систему совместимой с существующей СЭМ). СЭМ может быть основана на стандартах ISO 14001:1996 или EMAS (Схема экоменеджмента и аудита ЕС). Стандарт EMAS включает все требования ISO 14001, но дополняет их требованиями относительно соответствия законодательству, экологической результативности и участия сотрудников в функционировании системы; кроме того, он требует внешнего подтверждения соответствия системы стандарту, а также публикации и валидации заявления об экологической результативности организации. Стандарт ISO 14001 предусматривает возможность самодекларации как альтернативы внешнему подтверждению соответствия. Кроме того, многие организации внедряют СЭМ, не основанные на каких-либо стандартах.
- внедрения отдельной системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ). Это может быть:
    - система менеджмента, основанная на национальных стандартах (например, датском стандарте DS 2403, ирландском стандарте IS 393, шведском стандарте SS627750, германском документе VDI Richtlinie No. 46 «Менеджмент энергии» или соответствующем руководящем документе Финляндии) или других руководящих документах (международных стандартах или рекомендациях по менеджменту энергоэффективности). В настоящее время разрабатывается соответствующий стандарт ЕС (CEN);
    - система менеджмента, не основанная на существующих стандартах и адаптированная к потребностям и организационной структуре конкретной организации.

В результате сравнительного анализа систем менеджмента энергии [165, BESS_EIS] были установлены следующие:

- *преимущества стандартизованных систем* (например, основанных на датском стандарте DS 2403):
    - структурированный подход к менеджменту деятельности, связанной с энергией, легко реализуется, если организация уже имеет систему менеджмента, например, основанную на стандарте ISO;

- структура и терминология стандарта аналогичны принятым в стандартах ISO 14001 и ISO 9001;
- подтвержденные объемы энергосбережения в Дании составляют 10–15%;
- энергоэффективность становится обязательным требованием в организации, поддержанным на уровне высшего руководства;
- после одобрения внешней стороной система получает сертификат;
- крупные компании предпочитают сертифицированные системы менеджмента или системы, имеющие формальную структуру;
- процесс сертификации является ценным, детальным, и предъявляет серьезные требования к организации;
- система охватывает все сферы энергоснабжения, преобразования и использования энергии, поведения, технологий, работы с кадрами;
- система хорошо документирована (унаследован подход стандарта ISO 9001);
- может использоваться в контексте любых энергетических соглашений;

- *недостатки стандартизованных систем*:
  - сама по себе подобная система гарантирует лишь минимальный уровень менеджмента энергоэффективности;
  - степень, в которой компания реализует требования стандарта, например, DS 2403, может варьировать;
  - приоритетным для компаний оказывается удовлетворение требований стандарта, а не внедрение наилучших практических подходов к менеджменту энергоэффективности;
  - в отсутствие формальной документированной системы менеджмента в организации создание СМЭЭ на основе стандарта требует привлечения дополнительных ресурсов и квалификации.

Внедрение и функционирование СЭМ на основе международного стандарта, например, ISO 14001:1996, может обеспечить более высокий уровень доверия к системе, особенно в случае адекватно выполненного внешнего подтверждения соответствия стандарту. EMAS способен обеспечить еще более высокую репутацию системы, поскольку требования этого стандарта включают взаимодействие с общественностью посредством публикации заявления об экологической результативности, а также соответствие применимому экологическому законодательству. Однако системы, не основанные на стандартах, в принципе могут быть столь же результативны при условии их адекватной разработки и внедрения.

3. Внешнее подтверждение

В зависимости от выбранного подхода к внедрению системы, оператор может прибегнуть к внешнему подтверждению соответствия системы стандарту (в качестве варианта или обязательного требования стандарта) и/или публикации открытого заявления о результативности в сфере энергоэффективности.

4. Возможность публикации данных об энергоэффективности (см. п. (h), выше) может быть ограничена соображениями конфиденциальности и конкурентоспособности. Хотя публикация данных может служить дополнительной движущей силой для усилий в сфере энергоэффективности, сама по себе она не приводит к увеличению последней. Организация может обнародовать общую политику энергоэффективности в составе отчета о корпоративной социальной ответственности и/или опубликовать данные в форме относительных величин (см., в частности, «Примеры» ниже и приложение 7.4).

Экономические аспекты

Точная оценка затрат и экономических выгод, связанных с внедрением и функционированием качественной СМЭЭ, затруднительна. Однако следует иметь в виду, что любая чистая экономия вносит непосредственный вклад в валовую прибыль организации.

См. «Примеры» ниже.

Мотивы внедрения

С системами менеджмента энергоэффективности связан ряд преимуществ, например:

- улучшение понимания аспектов энергоэффективности компании;
- повышение результативности в сфере энергоэффективности, обеспечение соответствия нормативным требованиям и добровольным обязательствам;
- повышение конкурентоспособности, в особенности, в условиях растущих цен на энергию;
- дополнительные возможности снижения эксплуатационных затрат и повышения качества продукции;
- улучшение базы для принятия решений;
- улучшение мотивации персонала;
- улучшение имиджа компании;
- повышение привлекательности компании для сотрудников, потребителей и инвесторов;
- повышение уровня доверия регулирующих органов к организации, что может привести к снижению нагрузки, связанной с государственным контролем;
- облегчение выхода на либерализованные рынки энергии, а также работы с новыми энергетическими услугами, энергетическими соглашениями и схемами стимулирования энергоэффективности (см., например, приложения 7.4, 7.11, 7.12, 7.13 и 7.14).

Примеры (см. приложение 7.4)

- Outokumpu, Tornio works, Финляндия [160, Aguado, 2007]
- Aughinish Alumina (AAL), Ирландия [161, SEI, 2006]
- Dow Chemical Company [163, Dow, 2005]. Компания Dow достигла намеченного снижения энергоемкости продукции на 20% – с 13849 кДж/кг до 11079 кДж/кг (на единицу массы всего ассортимента продукции).
- Объемы подтвержденного энергосбережения в Дании [165, BESS_EIS].

Справочная информация

1. Основные стандарты систем экологического менеджмента

(Положение (ЕС) № 761/2001 Европейского Парламента и Совета о добровольном участии организаций в системе эко-менеджмента и аудита Сообщества (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)

(EN ISO 14001:1996, http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html; http://www.tc207.org)

2. Стандарты систем менеджмента энергоэффективности

- IS 393:2005 Системы менеджмента энергии (Ирландия);
- DS2403 Системы менеджмента энергии (Дания);
- SS627750 Системы менеджмента энергии (Швеция).

2.2. Планирование и определение целей и задач

2.2.1. Постоянное улучшение экологической результативности и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Общая характеристика

Важным элементом системы экологического менеджмента (СЭМ, наличие которой является НДТ во всех секторах КПКЗ) является обеспечение повышения общей экологической результативности. Важно, чтобы оператор понимал, что происходит с входными потоками, включая энергию, и каким образом их потребление ведет к загрязнению окружающей среды. Столь же важно, управляя значимыми входными и выходным потоками, поддерживать оптимальный баланс между сокращением загрязнения и прочими аспектами воздействия на окружающую среду, включая связанные с потреблением энергии, воды и сырья. Это позволяет снизить общее воздействие на окружающую среду, связанное с деятельностью установки.

Для обеспечения комплексного подхода к контролю загрязнения важно рассматривать постоянное улучшение экологической результативности в качестве одного из приоритетов бизнес-планирования для установки. Это касается кратко-, средне- и долгосрочного планирования для установки в целом, а также ее отдельных компонентов и/или систем. «Непрерывное» в данном контексте означает, что цель повышения экологической результативности постоянно присутствует в деятельности организации, и для его обеспечения периодически повторяется цикл планирования и последующих действий.

Вопросы потребления всех значимых ресурсов (в т.ч. энергии), а также контроля загрязнения должны решаться скоординированным образом в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе, причем этот процесс должен быть согласован с циклами инвестиционного и финансового планирования. В противном случае возможна ситуация, когда, например, внедрение краткосрочного решения по контролю загрязнения «на конце трубы» обусловит повышенное энергопотребление в долгосрочной перспективе, одновременно побудив оператора отложить инвестиции в решения, более благоприятные для окружающей среды (см. «Примеры» ниже). Анализ подобных ситуаций требует учета воздействия на различные компоненты окружающей среды. Некоторые рекомендации по такому учету, а также оценке затрат и выгод, связанных с различными решениями, приведены в разделе 1.1.6; более подробная информация доступна в Справочном документе по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды [167, EIPPCB, 2006], а также в разделах настоящего документа, посвященных энергоэффективному проектированию и другим вопросам (раздел 2.2.2 и т.д.).

Повышение экологической результативности с течением времени не обязательно носит линейный характер, т.е. далеко не всегда удается обеспечить, например, 2% дополнительного энергосбережения за каждый год на протяжении 10 лет. Повышение результативности может носить нерегулярный и ступенчатый характер, отражая инвестиции в проекты по повышению энергоэффективности и действие других факторов. Кроме того, может сыграть свою роль повышение результативности по другим направлениям: например, дополнительное снижение выбросов в атмосферу может потребовать увеличения энергопотребления. Как показано на рис. 2.2, энергопотребление установки может:

- снижаться после первого энергоаудита в результате мер, предпринятых по его итогам;
- повышаться вследствие установки дополнительного средозащитного оборудования;
- вновь снижаться, отражая дальнейшие меры и инвестиции, направленные на повышение энергоэффективности.

При этом наблюдается общая тенденция к снижению энергопотребления вследствие планирования на долгосрочную перспективу и соответствующих инвестиций.

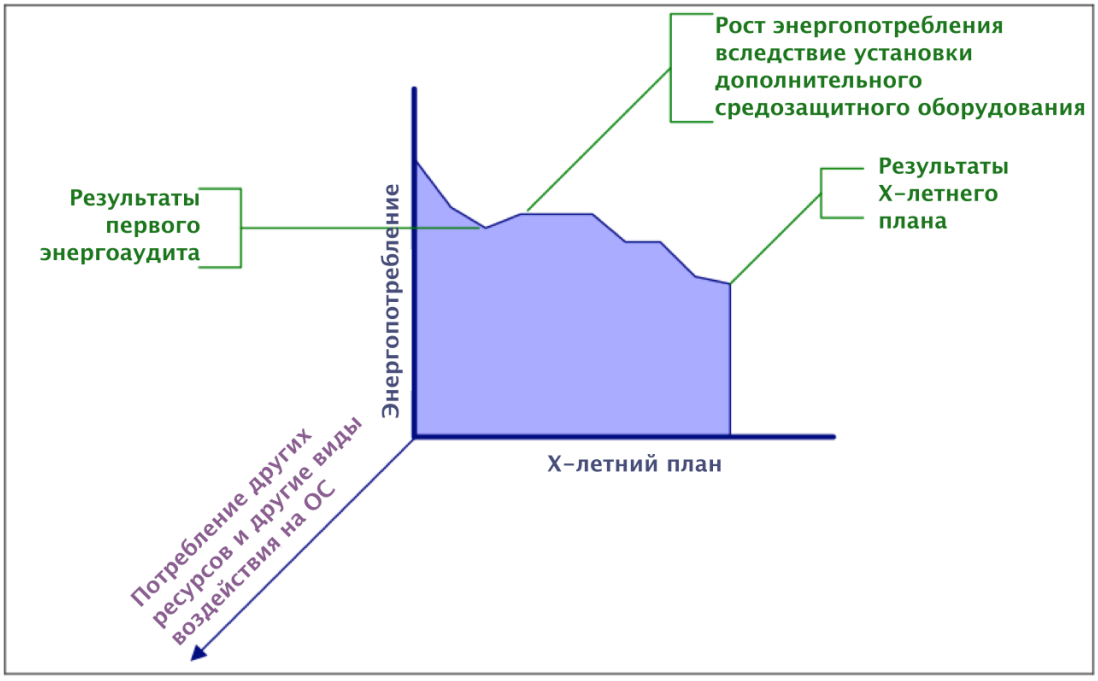


Рисунок 2.2: Пример возможной динамики энергопотребления с течением времени

[256, Tempany, 2007]

Энергоэффективность является одним из приоритетных вопросов в политике ЕС (в частности, это единственная имеющая отношение к окружающей среде проблема, упомянутая в Берлинской декларации [141, EU, 2007]). При рассмотрении экономических аспектов внедрения НДТ в пределах установки и соответствующего воздействия на различные компоненты окружающей среды следует учитывать важность энергоэффективности в контексте ст. 9 (4) Директивы КПКЗ, посвященной лимитам выбросов и сбросов загрязняющих веществ и эквивалентным параметрам, включаемым в разрешение.

Экологические преимущества

В долгосрочной перспективе может быть достигнуто сокращение потребления энергии, воды и сырья, а также загрязнения окружающей среды. Воздействие на окружающую среду никогда не может быть сведено к нулевому уровню, и в определенные моменты времени возможна ситуация, когда дальнейшие действия являются экономически неэффективными. Однако в дальнейшем, по мере развития технологий и изменения затрат (например, в связи с изменением цен на энергию), экономическая эффективность тех или иных мер также может измениться.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Уровень потребления некоторых ресурсов или некоторых видов воздействия может повыситься на определенный период времени, прежде чем скажутся долгосрочные эффекты инвестиций.

Производственная информация

Исследование, проведенное в 1990-х годах, продемонстрировало, что многие компании игнорируют возможности для инвестиций в повышение энергоэффективности, которые могли бы обеспечить очень хорошую отдачу. Исследователи пришли к выводу, что большинство компаний проводят четкое различие между «основным» бизнесом и прочей деятельностью, уделяя совершенствованию последней лишь незначительное внимание, за исключением крайне привлекательных возможностей (например, подразумевающих срок окупаемости инвестиций 18 – 24 мес.). Компании, деятельность которых не отличается значительным энергопотреблением, рассматривают связанные с ним затраты как «постоянные издержки» или игнорируют их, считая, что эти затраты не превышают «порогового уровня». Даже компании с более высокими затратами на энергопотребление, как правило, не используют существующих возможностей для «беспроигрышных» инвестиций [166, DEFRA, 2003].

Применимость

Применимо к всем установкам КПКЗ. Область и степень детальности применения данного метода зависит от масштаба установки и ряда переменных (см. также «Экологические преимущества» выше). Комплексный анализ всего спектра воздействий на различные компоненты окружающей среды выполняется редко.

Экономические аспекты

Позволяет осуществлять капитальные инвестиции с учетом значимой информации, обеспечивая снижение общего воздействия на окружающую среду и наилучший экономический эффект.

Мотивы внедрения

Снижение затрат в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе.

Пример

Пример анализа воздействия на различные компоненты окружающей среды приведен в Справочном документе по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды [167, EIPPCB, 2006]. В качестве гипотетического примера можно рассмотреть производителя автомобилей, стремящегося к дальнейшему сокращению загрязнения, связанного с использованием растворителей. Можно добиться радикального сокращения загрязнения, однако это потребует строительства нового окрасочного цеха. Срок службы нового цеха составит 25 лет, а необходимые капитальные затраты – около 500 млн. евро. Энергопотребление окрасочного цеха составляет около 38 – 52 % энергопотребления всего предприятия и находится в диапазоне 160– 240 тыс. МВт·ч в год (60% этого количества приходится на природный газ). Потребление сырья, качество окраски и уровень потерь растворителей могут также зависеть от степени автоматизации производства. Принятие следующих решений требует анализа эксплуатационных и капитальных затрат, а также потребления ресурсов и воздействия на окружающую среду за период окупаемости инвестиций:

- выбор типа краски и окрасочного оборудования;
- степень автоматизации производства;
- потребности системы в очистке отходящих газов и краске;
- срок эксплуатации существующего окрасочного цеха.

Справочная информация

[127, TWG, , 141, EU, 2007, 152, EC, 2003, 159, EIPPCB, 2006, 166, DEFRA, 2003, 167, EIPPCB, 2006, 256, Tempany, 2007]

2.2.2. Системный подход к менеджменту энергоэффективности

Общая характеристика

Деятельность в рамках программы SAVE[24] показывает, что, хотя определенное энергосбережение может быть достигнуто посредством оптимизации отдельных компонентов (например, двигателей, насосов или теплообменников), наибольший потенциал энергосбережения связан с использованием системного подхода. Такой подход начинается на уровне установки в целом с рассмотрения составляющих ее производственных единиц или систем и оптимизации: (a) способа взаимодействия этих систем; (b) каждой системы по отдельности. Лишь после этого имеет смысл обратиться к оптимизации отдельных компонентов оборудования.

Системный подход важен, в частности, в связи с использованием энергоресурсов. Традиционно усилия операторов сосредоточены на оптимизации энергопотребляющих процессов и оборудования – «мерах на стороне потребления». Однако энергопотребление, связанное с деятельностью предприятия, может быть сокращено и за счет «мер на стороне производства» – оптимизации способа получения (производства или приобретения) энергии или выбора оптимальных энергоресурсов при наличии соответствующих возможностей (см. раздел 2.15.2).

[24] SAVE – одна из программ ЕС по повышению энергоэффективности.

В разделах 1.3.5 и 1.5.1 обсуждается важность анализа энергоэффективности на уровне систем в целом и показывается, как системный подход может обеспечить больший прирост энергоэффективности (это может рассматриваться как подход к оптимизации «сверху вниз»).

Экологические преимущества

Позволяет добиться большего энергосбережения по сравнению с оптимизацией на уровне отдельных компонентов. См. «Примеры» ниже. Результатами применения системного подхода может быть также сокращение образования отходов и сточных вод, снижение выбросов, производственных потерь и т.д.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственные данные

Информация приведена в соответствующих разделах, в частности:

- Раздел 2.15.2: Оптимизация использования энергоресурсов и управление ими на основе моделей;
- Глава 3 посвящена, главным образом, отдельным системам.

Применимость

Все установки.

Экономические аспекты

См. соответствующие разделы.

Мотивы внедрения

- снижение затрат;
- повышение энергоэффективности;
- сокращение потребности в капитальных инвестициях.

Примеры

См. соответствующие разделы. Например, установка нового двигателя в системе обеспечения сжатым воздухом или насосной системе может привести к сокращению энергопотребления на 2%, в то время, как оптимизация системы в целом может привести к снижению энергопотребления на 30% или более (в зависимости от состояния системы). См. разделы 3.6 и 3.7.

Справочная информация

[168, PNEUROP, 2007, 169, EC, 1993, 170, EC, 2003, 171, de Smedt P. Petela E., 2006]

2.3. Энергоэффективное проектирование (ЭЭП)

Общая характеристика

На этапе планирования строительства нового предприятия или установки (или крупной реконструкции существующих объектов) следует оценить затраты, связанные с энергопотреблением производственных процессов, оборудования и вспомогательных систем на протяжении всего срока службы объекта. Во многих случаях может выясниться, что затраты, связанные с энергопотреблением, составляют значительную часть совокупной стоимости владения, рассчитываемой для всего срока службы предприятия и установки. Соответствующие примеры для типичного промышленного оборудования приведены на рис. 2.3.

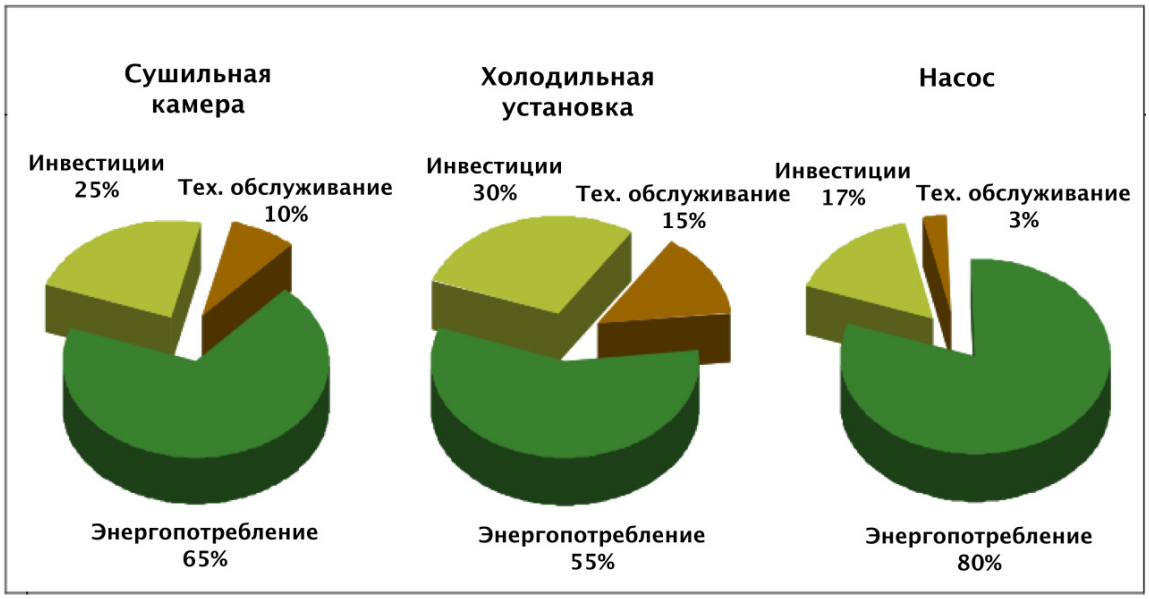


Рисунок 2.3: Составляющие совокупной стоимости владения для типичного промышленного оборудования (в расчете на десятилетний срок службы)

Как показывает практика, в случае рассмотрения вопросов энергоэффективности на этапах планирования или проектирования нового объекта потенциал энергосбережения оказывается выше, а соответствующие инвестиции значительно ниже, чем при оптимизации энергоэффективности предприятия в процессе коммерческой эксплуатации. Эта закономерность проиллюстрирована на рис. 2.4.



Рисунок 2.4: Потенциал энергосбережения и соответствующий объем инвестиций на этапах проектирования и эксплуатации

В процессе энергоэффективного проектирования используются те же самые технические знания, подходы и методы, что и в процессе энергоаудита на существующих предприятиях. Важнейшее отличие состоит в том, что на этапе проектирования существует возможность выбора в таких областях, как основные проектные параметры установки, используемый производственный процесс (см. раздел 2.3.1), основное производственное оборудование и т.д., как показано на рис. 2.5. Это делает возможным выбор наиболее энергоэффективных технологий. Осуществление подобных изменений на действующем предприятии, как правило, является невозможным или крайне затратным.

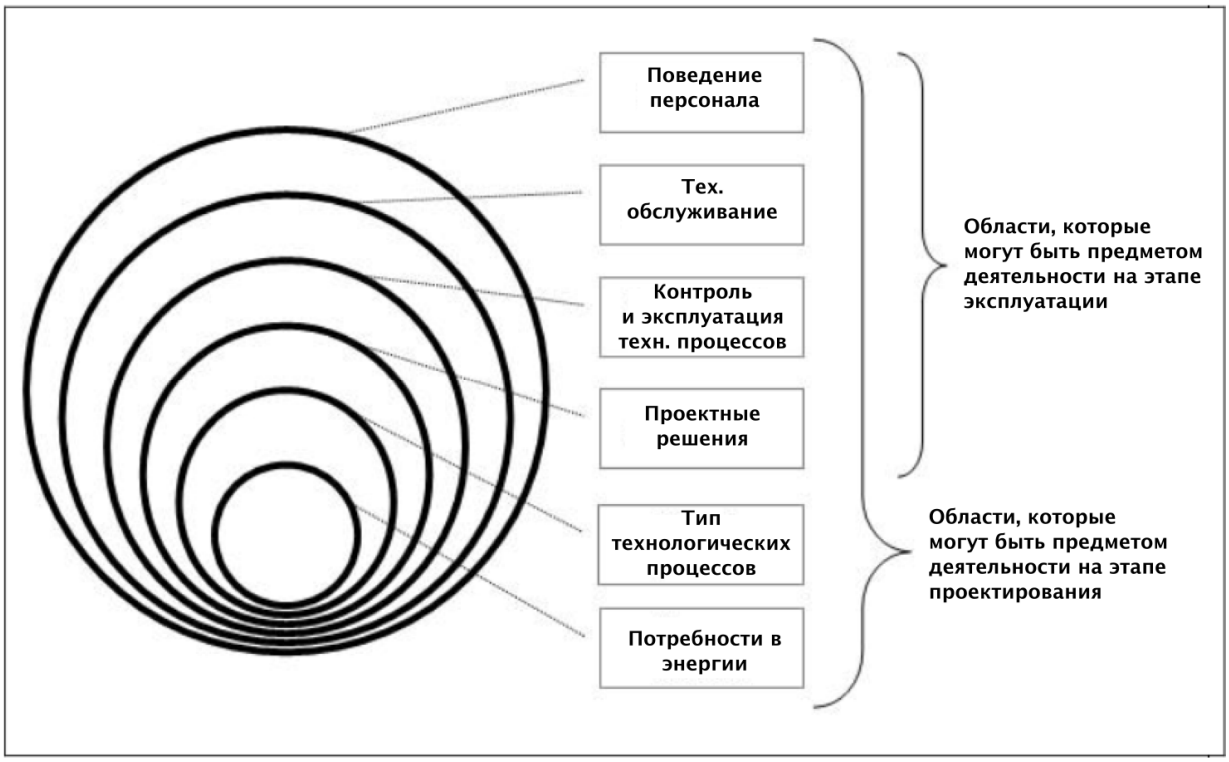


Рисунок 2.5: Области, которые могут быть предметом деятельности на этапах проектирования и эксплуатации

Можно привести следующие типичные примеры областей, которые могут быть проанализированы на этапе проектирования с точки зрения снижения потребностей в энергии:

- требования к потоку воздуха в системах ОВКВ (отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): что можно сделать для того, чтобы уменьшить поток воздуха в централизованной системе ОВКВ? (См. раздел 3.9.)
- требования к температуре охлаждающего раствора в системе охлаждения: какие процессы могут быть изменены или оптимизированы с целью снижения нагрузки на систему охлаждения и повышения температуры раствора?
- расход тепла в процессе сушки: какие параметры процесса и принципы его организации можно изменить для того, чтобы свести к минимуму расход тепла? (См. раздел 3.11.)
- потребность предприятия в паре: возможно ли использовать горячую воду в производственном процессе таким образом, чтобы отходящее тепло могло использоваться для целей отопления? (См. раздел 3.2.)
- требования к давлению сжатого воздуха: можно ли снизить требуемое давление или разделить систему на отдельные системы высокого и среднего давления? (См. раздел 3.7).

Ответ на эти вопросы может не представлять трудностей, но для выявления полного потенциала энергосбережения необходимо рассмотрение целого ряда подобных вопросов.

Практика показывает, что энергоэффективное проектирование обеспечивает наибольшую отдачу в случае нового строительства или крупной реконструкции. Однако это не должно служить препятствием для применения данного метода при планировании модернизации, реконструкции или капитального ремонта существующих объектов. Там, где на предприятии или установке присутствуют как горячие, так и холодные потоки, ответ на некоторые из значимых вопросов может быть получен при помощи пинч-анализа (см. раздел 2.12).

Кроме того, практика показывает, что процессы планирования и проектирования отличаются интенсивностью и часто осуществляются в соответствии с жестким графиком, не оставляющим дополнительного времени (или ресурсов) для анализа потенциала энергосбережения. Поэтому рабочий процесс энергоэффективного проектирования (ЭЭП) должен быть тесно интегрирован с этапами процесса планирования и проектирования, как показано в таблице 2.2.

Этап проектного цикла	Задачи ЭЭП
Концептуальное/базовое проектирование	• активный сбор данных относительно энергопотребления проектируемого объекта; • оценка реальных потребностей в энергии; • оценка общих затрат, связанных с энергией, на протяжении жизненного цикла объекта; • анализ основных проектных параметров, влияющих на энергопотребление; • выявление ключевых лиц и сторон, влияющих на энергоэффективность проектируемого объекта; • минимизация потребностей в энергии; • учет в проекте наилучших доступных технологий.
Детальное проектирование	• проектирование основных и вспомогательных процессов и систем; • оценка потребностей в КИПиА; • интеграция процессов и проектирование систем теплообмена между процессами (пинч-анализ); • минимизация потерь давления, тепловой энергии и т.д.; • выбор энергоэффективных двигателей, приводов, насосов и т.д. • включение дополнительных спецификаций, касающихся энергоэффективности, в материалы для тендеров.
Тендерный процесс	• работа с участниками тендеров и поставщиками с целью добиться более энергоэффективных решений; • контроль качества проектных решений и спецификаций для тендеров.
Строительно-монтажные работы	• контроль соответствия характеристик устанавливаемого оборудования условиям тендеров.
Ввод в эксплуатацию	• оптимизация основных и вспомогательных процессов и систем в соответствии со спецификациями.
Эксплуатация	• энергоаудиты; • менеджмент энергоэффективности.

Таблица 2.2: Примеры задач, решаемых в процессе энергоэффективного проектирования нового промышленного предприятия

«Оценка реальных потребностей в энергии» является важнейшим элементом ЭЭП, позволяющим определить те области, на которые будут направлены основные усилия в ходе последующих этапов планирования и проектирования. В принципе, предлагаемая последовательность шагов может использоваться как при проектировании сложных производственных предприятий, так и

при закупке несложного оборудования. Необходимо заранее выявлять планируемые и включаемые в бюджет крупные инвестиции, например, в ходе ежегодного анализа со стороны руководства, и определять связанные с ними потребности в энергоэффективном проектировании.

Экологические преимущества

С методологией ЭЭП связан максимальный потенциал энергоэффективности в промышленности. Она также создает возможности для применения энергоэффективных решений, внедрение которых на существующих предприятиях может оказаться невозможным. Во многих проектах достигаются объемы энергосбережения, составляющие 20 – 30% от общего энергопотребления. Эти величины значительно превосходят то, что может быть достигнуто в результате энергоаудитов на действующих предприятиях.

Производство	Экономический эффект (евро/год)	Энергосбережение (%)	Инвестиции (евро)	Срок окупаемости (лет)
Компоненты пищевых продуктов: • новые концепции охлаждения; • изменение процесса ферментации; • сокращение потребности в ОВКВ в упаковочных цехах; • рекуперация тепла, отходящего от ферментеров; • новые принципы освещения.	130000	30	115000	0,8
Кондитерские изделия: • улучшение контроля процессов сушки; • оптимизация системы охлаждения; • снижение энергозатрат на инфракрасную сушку продукции; • снижение давления сжатого воздуха; • более дешевый источник тепла (централизованное теплоснабжение).	65000	20	50000	0,7
Готовые блюда: • замена источника тепла для печей; • новая технология замораживания; • новая концепция рекуперации тепла; • оптимизация аммиачной холодильной установки; • оптимизация теплообменников.	740000	30	1500000	2,1
Пластмассы: • новая концепция охлаждения (естественное охлаждение); • рекуперация тепла для отопления помещений; • снижение давления сжатого воздуха; • сокращение потребностей в ОВКВ.	130000	20	410000	3,2
Бойня: • всеобъемлющая рекуперация тепла; • оптимизация процессов очистки; • снижение нагрузки на системы замораживания и охлаждения; • улучшение контроля процессов охлаждения; • использование животного жира для отопления помещений.	2000000	30	5000000	2,5

Таблица 2.3: Экономический эффект и инвестиции в пяти пилотных проектах ЭЭП

В целом, отношение совокупных социально-экономических выгод к издержкам при повышении энергоэффективности посредством ЭЭП оказывается в 3–4 раза выше, чем в случае традиционных энергоаудитов.

Рекомендуется организовывать работы по ЭЭП в несколько этапов, например:

- оценка данных по энергопотреблению и определение приоритетных областей;
- минимизация потребностей в энергии и применение НДТ;
- вклад в выработку проектных решений, включая решения по системам КИПиА;
- оценка качества организации тендеров;
- деятельность на этапе реализации проекта.

Каждый этап работ должен завершаться представлением конкретных результатов, позволяющих компании – оператору выбрать приоритетные области для дальнейшего анализа.

Для обеспечения наилучших возможных результатов процесса ЭЭП целесообразно следовать нижеприведенным принципам:

- несмотря на то, что многие параметры предполагаемых инвестиций еще не определены в начале этапа концептуального/базового проектирования, деятельность по ЭЭП должна начинаться именно в этот период, чтобы обеспечить максимальный экономический эффект и не задерживать дальнейший процесс проектирования;
- все данные по энергопотреблению и соответствующим затратам за срок службы проектируемого объекта должны быть рассчитаны или получены в начале этапа концептуального/базового проектирования. Крайне важно, чтобы все данные по энергопотреблению были представлены для оценки лицу или организации, ответственным за ЭЭП. Часто поставщики и производители не имеют возможности (или отказываются) предоставить данные на этом этапе; в таком случае необходимые параметры должны быть оценены другими средствами. Сбор данных может осуществляться в рамках процесса проектирования или отдельно от него;
- в качестве консультанта, осуществляющего деятельность по ЭЭП, должна привлекаться компания, независимая от проектной организации, как показано на рис. 2.6., в особенности, при проектировании производств, характеризующихся невысоким уровнем энергоемкости;

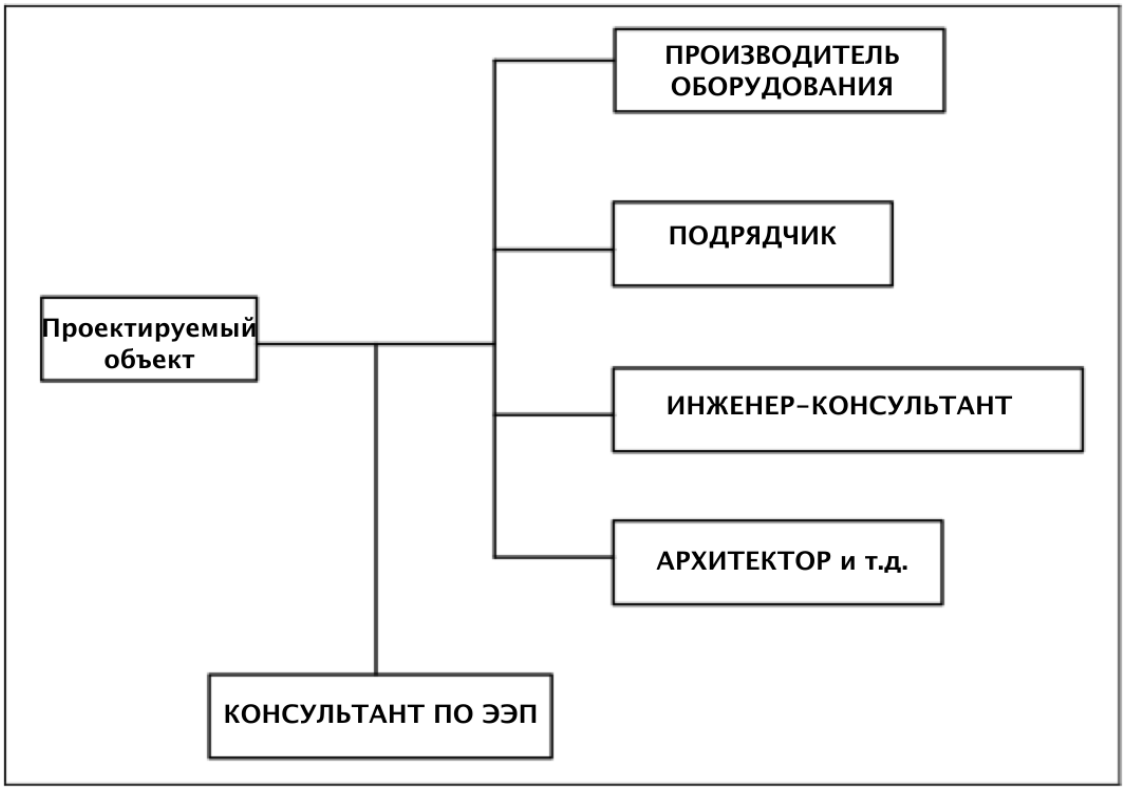


Рисунок 2.6: Рекомендуемая схема организации процесса планирования и проектирования новых объектов, включающая консультанта по энергетике

- помимо конечных потребителей энергии, в ходе начального картирования энергопотребления необходимо выявить в организациях, имеющих отношение к проекту, стороны, способные повлиять на энергопотребление будущего объекта. Например, персонал (в т.ч. эксплуатационно-технический) существующего предприятия нередко участвует в определении важнейших проектных параметров, от которых зависит энергоэффективность будущего объекта;

- в материалах по оценке рисков, связанных с тендерами, и других документах должно быть указано, какие производители могут быть не заинтересованы в оптимизации энергоэффективности своей продукции, поставляемой для проектируемого предприятия. Например, в условиях острой ценовой конкуренции производители оборудования часто вынуждены применять дешевые компоненты, сводить к минимуму использование теплообменников и т.д., что приводит к повышению общих эксплуатационных затрат за весь срок службы оборудования;

- с другой стороны, определение энергоэффективности в качестве одного из важнейших факторов, учитываемых в тендерном процессе при строительстве новых или реконструкции существующих объектов, и придание ей соответствующего приоритета будет способствовать отбору наиболее энергоэффективных вариантов.

Важно отметить, что деятельность по ЭЭП во многих случаях носит междисциплинарный характер, и эксперт по энергетике (независимый или внутренний) должен не только располагать необходимыми техническими знаниями, но и иметь значительный опыт работы со сложными организациями и решением сложных технических проблем.

Применимость

Практический опыт свидетельствует о том, что использование подходов энергоэффективного проектирования (ЭЭП) является одним из наиболее экономически эффективных и привлекательных способов повышения энергоэффективности в промышленности и других энергопотребляющих секторах. ЭЭП успешно применяется в большинстве отраслей промышленности, обеспечивая экономический эффект на уровне установок в целом, а также отдельных производственных единиц и вспомогательных систем.

Существенным препятствием для ЭЭП является тот факт, что многие производители (в особенности, производящие продукцию для неэнергоемких отраслей) занимают консервативную позицию, не желая менять традиционную конструкцию выпускаемой продукции, изменять условия гарантии и т.д. С другой стороны, часто бывает невозможно заранее предвидеть все последствия изменений, например, для качества продукции или ее производительности. Некоторые системы менеджмента, например, TQM (всеобъемлющий менеджмент качества), не допускают изменений, потенциально способных негативно повлиять на качество продукции.

Раннее начало работ по ЭЭП (на ранних стадиях концептуального проектирования) и их хорошая организация важны, поскольку они позволяют избежать замедления процесса планирования и проектирования.

Несмотря на то, что ЭЭП сосредоточено, в первую очередь, на применении хорошо известных технологий и принципов, во многих случаях использование этого подхода приводит к внедрению новых технологий или более сложных решений. Это должно рассматриваться как риск с точки зрения клиента.

Представители энергоемких отраслей (химической промышленности, нефтепереработки, производства стали, сжигания отходов) сделали следующие замечания относительно привлечения консультанта по энергоэффективному проектированию, независимого от проектной организации:

- как правило, предприятия энергоемких отраслей располагают собственными экспертами по энергоэффективному проектирования. Основной причиной этого являются соображения конкуренции и конфиденциальности проектных решений, ограничивающие возможности для привлечения внешних консультантов;

- требования в области энергоэффективности могут составлять часть тендерных спецификаций для производителей и поставщиков оборудования (соответствующие требования должны составлять часть тендерных спецификаций, см. соображения об

оценке связанных с тендерами рисков в подразделе «Производственная информация» выше). Как следствие, производители могут быть более внимательны к энергоэффективности своей продукции и регулярно оценивать ее с этой точки зрения;

- при проведении тендеров на поставку сложных установок и систем, энергетические характеристики которых являются критически важными, в оценке тендерных предложений, как правило, принимает участие эксперт по энергетике со стороны потребителя.

Экономические аспекты

Стоимость услуг независимых консультантов может находиться в диапазоне 0,2–1% от стоимости предполагаемых инвестиций в зависимости от масштабов и характера энергопотребления предприятия. В том случае, если ЭЭП выполняется производителем приобретаемой установки или собственными экспертами заказчика, оценка соответствующих затрат затруднительна.

Во многих случаях ЭЭП приводит не только к сокращению энергозатрат, но и к снижению инвестиций, позволяя снизить проектную мощность основных энергосистем (охлаждения, отопления, обеспечения сжатым воздухом и т.д.).

Было продемонстрировано, что хорошо спроектированное производственное предприятие часто характеризуется не только большим уровнем эффективности, но и большей производительностью, чем предприятие, спроектированное традиционным образом, поскольку высокий уровень потерь приводит к непроизводительному использованию части мощностей.

Мотивы внедрения

Основными мотивами для использования ЭЭП являются:

- снижение эксплуатационных затрат;
- возможность применения новых технологий (НДТ)
- повышение общего качества проектирования вследствие использования передовых методик проектирования и дополнительных данных.

Дополнительными преимуществами в результате использования ЭЭП могут быть повышение производительности установки, сокращение объемов образования отходов, а также повышение качества продукции (см. раздел 2.3.1).

Примеры

Сообщается об осуществлении нескольких (10) официальных пилотных проектов по ЭЭП в Дании, включая:

- новая бойня компании Danish Crown в Хорсенсе, Дания (www.danishcrown.com). Эта бойня является крупнейшей в 25 странах ЕС (EU-25), а компания-оператор имеет значительный опыт менеджмента энергоэффективности, поскольку стоимость энергии составляет значительную часть эксплуатационных затрат. Тем не менее, процесс энергоэффективного проектирования, примененный к исходному проекту предприятия внешними консультантами, позволил обеспечить дополнительное энергосбережение за весть срок службы предприятия в объеме более 30 %;
- новая фабрика готовых блюд компании Danpo в Фарре, Дания (www.danpo.dk);
- новое предприятие по производству компонентов для пищевых продуктов компании Chr. Hansen в Аведоре Хольме, Дания (www.chrhansen.com).

Официальные отчеты об этих проектах (на датском языке) доступны на сайте Агентства по энергетике Дании (www.ens.dk).

Рекомендации по проектированию помещений для животных были включены в Справочный документ по интенсивному птицеводству и свиноводству [173, EIPPCB, 2003] как составная часть НДТ повышения энергоэффективности.

- новое предприятие по производству картофельного крахмала, Karup Kartoffelmelfabrik, в Дании (проект в рамках программы EU LIFE).

Процесс ЭЭП, выполненный внешним консультантом для ирландской фармацевтической компании, позволил выявить потенциал энергосбережения за весь срок службы предприятия в объеме 64%. К сожалению, процесс ЭЭП был начат слишком поздно, что не позволило осуществить все предложенные меры; в результате было реализовано около половины выявленного потенциала энергосбережения.

Справочная информация

Датская Организация инженеров-консультантов выполнила значительную работу по разработке методик и рекомендаций в области энергоэффективного проектирования. Соответствующий материал (на датском языке) может быть заказан через сайт www.frinet.dk.

Датская схема соглашений подготовила описания ряда примеров, а также методик энергоэффективного проектирования, рассчитанных на крупные энергоемкие производства (на датском языке, см. www.end.dk). [172, Maagøe Petersen, 2006]

Справочный документ по интенсивному птицеводству и свиноводству, разделы 5.2.4 и 5.3.4.

Код проекта по ЭЭП для предприятия по производству картофельного крахмала: LIFE04ENV/DK/67 [174, EC, 2007]

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/

2.3.1. Выбор технологии производственного процесса

Общая характеристика

Выбор энергоэффективной технологии для производственного процесса является важнейшим элементом энергоэффективного проектирования, заслуживающим особого внимания, поскольку возможность выбора технологии, как правило, представляется лишь при строительстве нового или масштабной модернизации существующего предприятия. Во многих случаях именно с выбором оптимальной технологии связан наибольший потенциал энергосбережения. При этом рекомендуемой практикой является учет научно-технических достижений в рассматриваемой области (см. п. 2.1(k)).

Поскольку сформулировать общие рекомендации по выбору технологий для всех секторов КПКЗ представляется затруднительным, ниже приводятся четыре примера предприятий различных отраслей (см. «Примеры»).

В самом широком смысле, существуют следующие варианты замены технологии:

- переход к процессу, основанному на других технических принципах;
- замена производственного оборудования;
- переход к процессу, основанному на других технических принципах с одновременной заменой оборудования.

Производственный процесс может включать несколько этапов, использующих различные технологии, т.е. промежуточная продукция одного этапа может использоваться в качестве исходного материала для следующего. При строительстве или модернизации предприятия могут быть заменены один или несколько этапов. Как правило, наилучшие результаты достигаются при замене процесса в целом, что открывает возможности для рассмотрения новых способов получения конечной продукции.

Экологические преимущества

Зависят от конкретного процесса: замена технологии может привести к значительному энергосбережению, а также сокращению образования отходов и/или использования опасных веществ, снижению загрязнения окружающей среды, связанного с использованием растворителей и т.д. См. «Примеры».

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Зависит от конкретного процесса. См. «Примеры».

Производственная информация

Зависит от конкретного процесса. См. «Примеры».

Применимость

Зависит от конкретной установки. См. «Примеры».

Экономические аспекты

Зависят от конкретного процесса. См. «Примеры».

Мотивы внедрения

Зависят от конкретного процесса. В качестве возможных вариантов можно назвать снижение затрат, повышение производительности, более высокое качество продукции (например, стереоспецифичность), сокращение объемов образующейся побочной продукции, меньшая степень токсичности отходов и т.д.

Для каталитических процессов:

- в некоторых случаях – необходимость повышения избирательности (получения конкретных разновидностей продукции);
- некоторые реакции, являясь возможными с термодинамической точки зрения, не могут происходить в отсутствие катализатора.

Примеры

В приложении 7.5 приведены следующие примеры:

1. Использование катализа в химических реакциях. Применение катализаторов позволяет уменьшить энергию активации и, в зависимости от конкретной реакции, снизить потребность в подведении тепловой энергии к процессу. Катализ используется в промышленности на протяжении многих лет, однако во многих областях продолжаются активные исследования. В настоящее время значительный интерес вызывают биотехнологические подходы (биокатализ) и их возможная роль в производстве органических соединений, фармацевтических препаратов, биотоплива и т.д. См. приложение 7.5, пример 1: Производство акриламида с использованием ферментов (Mitsubishi Rayon, Япония).

2. Использование красок и окрасочных систем с радиационным отверждением вместо традиционных систем, основанных на использовании растворителей. См. приложение 7.5, пример 2.

3. Использование теплообмена при организации напольного отопления помещений в животноводстве. См. приложение 7.5, пример 3.

Еще одним примером является датское предприятие по производству крахмала Karup Kartoffelmelfabrik (проект в рамках программы EU LIFE).

Справочная информация

[164, OECD, 2001, 173, EIPPCB, 2003, 175, Saunders_R., 2006]

Код проекта по ЭЭП для предприятия по производству картофельного крахмала: LIFE04ENV/DK/67 [174, EC, 2007];

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/

[257, Clark, 2006]

2.4. Повышение степени интеграции процессов

Общая характеристика

Более эффективное использование энергии и других ресурсов посредством оптимизации их использования в рамках более чем одного процесса или системы[25].

Конкретные подходы специфичны для предприятия и процесса, некоторые примеры приводятся ниже (см. «Примеры»).

Экологические преимущества

Одно или несколько из следующих:

- повышение энергоэффктивности;
- повышение использования других ресурсов, включая сырье, воду (например, охладительную или деминерализованную), а также энергоресурсы;
- снижение выбросов, сбросов, загрязнения почв и объемов образования отходов.

Возможны и другие преимущества, специфичные для конкретного предприятия.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как предполагается, отсутствует.

Производственная информация

Информация отсутствует.

Применимость

Подход широко применим, в особенности в условиях, когда производственные процессы уже взаимосвязаны. Однако возможности для улучшения зависят от конкретной ситуации.

В контексте интегрированного производства (комбината) следует иметь в виду, что изменения на одном производстве могут повлиять на характеристики другого производства. Это может иметь место и в случае изменений, продиктованных природоохранными соображениями.

Мотивы внедрения

- сокращение затрат;
- другие преимущества, специфичные для конкретного предприятия.

Экономические аспекты

Экономический эффект сбережения энергии, сырья и других ресурсов зависит от конкретных условия.

Примеры

1. На предприятии компании Grande Paroisse в Руане (France) было достигнуто снижение эксплуатационных затрат в размере, превышающем 1 млн. евро в год. На рассматриваемом предприятии (см. Справочный документ по крупнотоннажному производству аммиака, неорганических кислот и удобрений, раздел 1.4.1) была повышена степень интеграции производств азотной кислоты и нитрата аммония (NH_4NO_3). Были реализованы следующие меры:

- сырьем для обоих производств является газообразный (перегретый) аммиак. Оба производства используют общий испаритель аммиака, функционирующий за счет энергии технологического пара производства нитрата аммония;
- пар низкого давления, образующийся на производстве нитрата аммония, используется для подогрева питательной воды котлов с 43ºC до примерно 100ºC в двух теплообменниках;

[25] В российской инженерной практике этот подход более известен как «энерготехнологическое комбинирование». *(Прим. ред.)*

- затем горячая питательная вода используется для подогрева хвостовых газов производства азотной кислоты;
- конденсат, образующийся на производстве нитрата аммония, направляется в абсорбционную колонну на производстве азотной кислоты.

Осуществление этих мер дало следующие результаты:

- повышение энергоэффективности производства;
- сокращение расхода деминерализованной воды;
- снижение потребности в инвестициях вследствие использования общего испарителя аммиака.

2. Новое датское предприятие по производству крахмала Karup Kartoffelmelfabrik (проект в рамках программы EU LIFE).

Справочная информация

[154, Columbia_Encyclopedia] [221, Yang W., 25 May 2005,]

Код проекта по ЭЭП для предприятия по производству картофельного крахмала: LIFE04ENV/DK/67 [174, EC, 2007];

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/

2.5. Обеспечение дальнейшего развития инициатив в области энергоэффективности и поддержание мотивации

Общая характеристика

Был выявлен ряд проблем для дальнейшего развития начатой деятельности в области энергоэффективности и реализации разработанных программ. В частности, важно отслеживать то, удается ли закрепить уровни энергосбережения, достигнутые в результате внедрения новых технологий или методов. Нередко не принимается во внимание постепенное уменьшение достигнутого эффекта в результате неэффективной эксплуатации и технического обслуживания оборудования, а также других факторов.

Выявленные проблемы включают (некоторые подходы к решению этих проблем описаны в других разделах, ссылки на которые приводятся ниже):

- необходимость эволюции стратегий. Стратегии могут рассматриваться как имеющие собственный жизненный цикл и постепенно достигающие зрелости. Необходим периодический пересмотр стратегий (по прошествии периода, достаточного для оценки их результативности, который может составлять несколько лет), направленный на поддержание их актуальности с точки зрения целевой аудитории и предлагаемых методов;
- в некоторых областях показатели энергоэффективности могут находиться в стадии разработки (информация о сложностях, связанных с разработкой показателей, приведена в разделе 1.3.3);
- менеджмент и стимулирование энергоэффективности осложняются в условиях отсутствия адекватных инструментов или методов измерений;
- в то время, как единицы оборудования или процессы, рассматриваемые по отдельности, допускают относительно точную оценку энергоэффективности, выработка точных показателей энергоэффективности для комплексных систем представляет собой проблему: на энергоэффективность такой системы одновременно влияет множество факторов, а с определением ее границ также могут быть связаны некоторые трудности (см. разделы 1.4 и 1.5);
- затраты, связанные с энергопотреблением, нередко рассматриваются как часть постоянных издержек или косвенные затраты и во многих случаях учитываются в

бюджете отдельно от производственных затрат (или относятся к другому центру финансовой ответственности в системе бюджетирования);

- в рамках осуществления стратегии существует потребность в постоянной деятельности, направленной на поддержание адекватных механизмов и содержания информационного обмена, обновление информационных ресурсов и мониторинг результатов осуществления стратегии. В рамках этой деятельности могут использоваться интерактивные методы информационного обмена (см. раздел 2.7);
- обеспечение постоянного характера деятельности по энергосбережению и применения передовых практических подходов вплоть до интеграции их в культуру организации (установки);
- ощущение «застоя» на уровне руководства влияет на степень энтузиазма, с которым осуществляется распространение передовых подходов в области энергоэффективности (см. также разделы 2.6 и 2.7);
- необходимость обучения и постоянного развития персонала на всех уровнях организации (см. также раздел 2.6);
- необходимость отслеживать передовые научно-технические достижения (см. разделы 2.2.1, 2.2.2, 2.3 и т.д.).

Методы, способные придать динамизм программам повышения энергоэффективности, включают, в частности:

- внедрение специализированной системы менеджмента энергоэффективности (см. раздел 2.1);
- учет потребления энергии на основе фактического (измеренного) потребления, а не на основе оценок или фиксированных долей общего потребления предприятия. Это возлагает ответственность за обеспечение энергоэффективности на конечного пользователя/плательщика и дает ему стимул для ее повышения;
- создание в компании центра прибыли, связанного с энергоэффективностью (в форме группы или центра в системе бюджетирования), с тем, чтобы соответствующие инвестиции и экономический эффект энергосбережения (сокращение затрат на энергопотребление) отражались в едином бюджете, и лица, ответственные за повышение энергоэффективности могли продемонстрировать руководству свою роль в формировании прибылей компании. Адекватное отражение результатов повышения энергоэффективности позволяет продемонстрировать, что с экономической точки зрения эффект соответствующих инвестиций эквивалентен увеличению продаж продукции (см. «Примеры» ниже);
- свежий взгляд на существующие организации, например, при помощи такого подхода, как «совершенство в производственной деятельности» (operational excellence, см. «Примеры» ниже);
- поощрение положительных результатов применения передовых практических подходов или НДТ;
- использование методов управления изменениями (что тоже является одной из черт «совершенства в производственной деятельности»). Человеку свойственно сопротивляться изменениям до тех пор, пока ему не продемонстрированы связанные с ними выгоды. Расчеты преимуществ различных вариантов изменений (возможно, выполняемые в онлайновом режиме; например, в форме альтернативных сценариев) могут внести вклад в формирование необходимой для изменений. Для этого важно продемонстрировать надежность расчетов и обеспечить эффективное доведение результатов до целевой аудитории. Пример представления данных приведен в разделе 2.15.2.

Экологические преимущества

«Совершенство в производственной деятельности» (operational excellence) позволяет развивать программы повышения энергоэффективности, закрепляя и развивая достигнутые результаты. Поскольку этот подход носит целостный характер, он способствует повышению результативности и другой производственной деятельности.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

См. «Общая характеристика» и «Примеры».

Применимость

Выбор конкретных методов зависит от характера и размера установки. Например:

- СМЭЭ может применяться на любых установках (см. раздел 2.1), хотя и в этом случае оптимальная степень сложности системы зависит от масштаба и характера предприятия;
- обучение персонала в той или иной форме целесообразно в условиях любых установок (см. раздел 2.6);
- затраты на независимые консультации по программам энергоэффективности, особенно в случае малых и средних предприятий, могут субсидироваться государством (см. раздел 2.6)
- подход «совершенство в производственной деятельности» (operational excellence) успешно применяется крупными компаниями, имеющими несколько производств;
- принципы СМЭЭ и «совершенства в производственной деятельности» применимы в широком диапазоне условий.

Стремление к энергоэффективности в слишком узком понимании может противоречить эффективности производства в целом и привести к неоптимальным решениям (например, в отношении таких указанных выше методов, как учет фактического потребления энергии на уровне конкретных потребителей).

Экономические аспекты

- см. «Примеры». Информация по СМЭЭ приведена в разделе 2.1;
- «совершенство в производственной деятельности» позволяет снизить потребность в капитальных инвестициях, повысив норму окупаемости капиталовложений.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат. Поскольку подход носит целостный характер, он позволяет оптимизировать производство и в других отношениях, например, снизив объемы образования отходов, сократив продолжительность производственного цикла и т.д.

Примеры

«Совершенство в производственной деятельности»

«Совершенство в производственной деятельности» (operational excellence, OpX) представляет собой целостный подход к организации систематического менеджмента безопасности, охраны труда, экологических аспектов, надежности и эффективности. Этот подход сочетает такие методологии производственного менеджмента, как «бережливое производство» (lean manufacturing) и «шесть сигм» с методиками управления изменениями с целью обеспечения оптимального совместного функционирования персонала, оборудования и производственных процессов. Цели этого подхода могут описываться, например, как «достижение превосходства в производственной деятельности и реализации бизнес-процессов» или «достижение результативности мирового уровня».

В центре внимания подхода находится последовательное совершенствование критических производственных процессов, а также сокращение объемов образования отходов и продолжительности производственного цикла при помощи сочетания таких методологий, как 5-S, защита от ошибок (Error-proofing), структурирование функций качества (QFD), структурирование проблем обслуживания и т.д.

Конкретные шаги определяются в рамках СМЭЭ (см. раздел 2.1), причем особое внимание уделяется:

- определению наилучших практических подходов (целей, которые ставят перед собой производственные группы для достижения совершенства в выполнении определенного производственного процесса);
- подробному описанию всех наилучших практических подходов (включая изменения и улучшения);
- выявлению показателей для оценки результативности производственнойдеятельности;
- основным навыками и умениям, которыми должен обладать персонал для выполнения процесса.

Важными особенностями подхода является использование собственного опыта организации, в т.ч. других подразделений (или связанных с ней компаний), формирование целевых рабочих групп для выявления наилучших практических подходов, работа с персоналом других, неоптимизированных подразделений и т.д.

Примеры внедрения СМЭЭ приведены в приложении 7.4.

Создание центра прибыли или бюджетирования, связанного с энергоэффективностью

В качестве примера энергоэффективности как центра прибыли можно привести ситуацию, в которой оснащение крупного насоса приводом переменной скорости рказалось эквивалентным увеличению продаж на 11 %.

Справочная информация

[176, Boden_M., 2007, 177, Beacock, 2007, 227, TWG]

2.6. Поддержание и повышение квалификации персонала

Общая характеристика

Значимость этого фактора отмечалась в пп. 2.1(d)(i) и (ii). Практически на всех европейских установках уровень квалификации персонала снижается на протяжении последних десятилетий. Обязанности сотрудников могут включать выполнение различных типов задач или обслуживание различных типов оборудования. Хотя такой подход может оказаться адекватным для штатных условий и позволить сохранить приемлемый уровень квалификации в определенных областях, с течением времени он может привести к снижению специальной квалификации в отношении конкретных систем (например, систем обеспечения сжатым воздухом) или областей (например, менеджмент энергоэффективности), а также ограничить способности персонала к выполнению нестандартной работы, например, энергоаудитов или расследований по итогам инцидентов.

Обучение персонала является важным фактором реализации программ повышения энергоэффективности, а также интеграции последней в организационную культуру. Оно может включать:

- программы высшего и профессионального образования;
- возможности для обучения, связанного с конкретными навыками и областями деятельности, включая профессиональные, упрвленческие и технические;
- постоянное развитие в области менеджмента энергоэффективности: проблематика энергоэффективности должна быть понятна всему управленческому персоналу, а не только специально назначенным менеджерам.

Ощущение «застоя» на уровне руководства влияет на степень энтузиазма, с которым осуществляется распространение передовых подходов в области энергоэффективности, в то время как активная кадровая политика может служить фактором положительных изменений. Инструменты такой политики могут включать ротацию, временное прикомандирование сотрудников к другим подразделениям, дальнейшее обучение персонала и т.д.

Обеспечение энергосбережения может потребовать от операторов дополнительных ресурсов – как дополнительных сотрудников, так и дополнительных навыков и умений персонала.

Это может быть достигнуто, в частности, при помощи одного или нескольких следующих способов:

- привлечение квалифицированного персонала и/или обучение персонала;
- периодическое освобождение работников от повседневных обязанностей для участия в плановых обследованиях или расследованиях по конкретному вопросу (в пределах их собственной установки или на другой установке, см. «Примеры» ниже и раздел 2.5);
- обмен кадровыми ресурсами между объектами (см. «Примеры» ниже и раздел 2.5);
- привлечение консультантов, обладающих необходимой квалификацией, для проведения плановых обследований;
- делегирование специализированных функций и/или эксплуатации специализированных систем внешней организации (см. Приложение 7.12).

Обучение может проводиться собственными специалистами организации или внешними экспертами, в форме организованных учебных курсов или самообразования (деятельности отдельных сотрудников по поддержанию и развитию собственной профессиональной квалификации). На национальном и местном уровне в странах ЕС, а также на сайтах в Интернете доступно большое количество информации, которая может использоваться для обучения (в частности, см. ссылки на информационные ресурсы, в т.ч. электронные, ниже). Существуют также информационные ресурсы, ориентированные на конкретные отрасли, отраслевые и профессиональные ассоциации, а также другие организации. Например, министерство сельского хозяйства может распространять материалы о повышении энергоэффективности в интенсивном животноводстве.

Методы дистанционного обучения в области энергетического менеджмента и энергоэффективности, а также соответствующие ресурсы находятся в стадии формирования. В Интернете существует ряд сайтов, предлагающих учебные материалы в таких областях, как энергоэффективность, менеджмент энергоэффективности, наилучшие практические подходы, энергоаудит, сравнительный анализ и контрольные списки. Как правило, сайты предлагают обучение по одной или нескольким из этих тем; некоторые ресурсы рассчитаны на непромышленных пользователей (торговля, домохозяйства, малый и средний бизнес и т.п.). Часто проще найти данные по конкретной теме (например, паровым системам, ОВКВ или интенсивному свиноводству), чем руководства и учебные материалы общего характера по вопросам энергосбережения и энергоэффективности.

В рамках программы SAVE организован учебный курс EUREM (европейский энергетический менеджер – производство). По итогам успешного пилотного проекта масштабы деятельности были расширены.

Экологические преимущества

Способствует повышению энергоэффективности.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не выявлено.

Производственная информация

Данные отсутствуют.

Применимость

Применимо на любых предприятиях. Характер и масштабы обучения зависят от отрасли, а также размера и степени сложности установки. Существуют программы и подходы, адаптированные для небольших установок. Следует отметить, что даже предприятия, достигшие высоких уровней энергоэффективности, смогли извлечь преимущества из дополнительных ресурсов (см. раздел 2.5).

Экономические аспекты

Затраты на привлечение дополнительных сотрудников или консультантов. Инициативы некоторых стран ЕС предусматривают, в частности, субсидирование затрат на внешние консультации и/или обследования в сфере энергоэффективности (см. Приложение 7.13), в особенности для малых и средних предприятий. См. также информацию о программе EUREM ниже.

Мотивы внедрения

Нереализованный потенциал снижения затрат, даже в эффективных организациях.

Примеры

Существует множество примеров успешного привлечения внешних экспертов, дополняющих собственные ресурсы организации. См. «Справочная информация», а также такие примеры, как больница «Атриум» в Хеерлене, Нидерланды (см. приложение 7.7.2)

В рамках пилотного проекта EUREM прошли обучение 54 специалиста из четырех стран (Германия, Австрия, Великобритания и Португалия). Курс включал около 140 часов лекционных и семинарских занятий, около 60 часов самостоятельной работы с использованием Интернета, а также работу над проектом. В Германии (Нюрнберг) продолжительность курса составляла 6 месяцев (по пятницам и субботам каждые 2–3 недели), за которыми следовали 3–4 месяца работы над проектом. Затраты зависели от конкретной страны и материально-технической базы обучения: около 2100 евро в Германии, 2300 евро в Австрии. (Данные на 2005–2006 гг.). Результаты проекта в области энергоэффективности приведены в таблице 2.4.

Результат	Запланировано	Достигнуто
Энергосбережение на участника	400 МВт·ч/год	1280 МВт·ч/год
Экономический эффект на участника	16000 евро/год	73286 евро/год
Период окупаемости (требуемых инвестиций)		3,8 лет
Период окупаемости (непосредственных затрат на обучение, из расчета 230 рабочих дней в году)		7 рабочих дней (экономический эффект в 33 раза превышает затраты на обучение)

Таблица 2.4: Результаты пилотного проекта EUREM

Дистанционное обучение

Некоторые бесплатные ресурсы:

- Совместная программа Агентства по охране окружающей среды и Министерства энергетики США:

http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.bus_internet_presentations

- британский ресурс:

http://www.create.org.uk/

Другие ресурсы являются платными (возможна частичная компенсация затрат государственными органами):

- http://www.greenmatters.org.uk/
- http://www.etctr.com/eetp/home.htm

Справочная информация

[161, SEI, 2006, 176, Boden_M., 2007, 179, Stijns, 2005, 180, Ankirchner, 2007, 188,

Carbon_Trust_(UK), 2005, 227, TWG] [261, Carbon_Trust_UK, 2005], at

http://www.thepigsite.com/articles/5/housing-and-environment/1408/energy-use-in-pig-farming

2.7. Информационный обмен

Общая характеристика

Информационный обмен (коммуникации) является важным инструментом формирования мотивации, который может использоваться современными компаниями для достижения самых разных целей. Следует информировать персонал о вопросах энергоэффективности, а также побуждать и поощрять его вносить вклад в ее повышение посредством энергосбережения, предотвращения избыточного энергопотребления и эффективной работы (см. разделы 2.5 и 2.6). Надлежащий подход к этой области позволяет организовать эффективный двусторонний обмен информацией по вопросам энергоэффективности, в частности, позволяющий персоналу сообщать о своих наблюдениях и предложениях, внося таким образом вклад в достижение общих целей.

Средства информирования должны использоваться для получения сотрудниками обратной связи относительно результативности компании (и/или их подразделения), а также в качестве инструмента признания и поощрения достижений. Хорошо организованная система информирования обеспечивает поток информации как о целях и задачах, так и о достигнутых результатах.

Существуют различные средства информационного обмена или распространения информации – бюллетени, газеты, информационные листки, плакаты, стенды, групповые инструктажи, собрания или совещания по конкретным вопросам и т.д. В частности, возможно использование существующих корпоративных каналов информирования для распространения сведений об энергоэффективности. Распространяемые сведения должны включать конкретные данные об энергопотреблении (за день, неделю, месяц и/или год), а также динамику этих данных во времени или информацию об их корреляции со значимыми параметрами, например, объемом производства или погодными условиями (см. разделы 1.4 и 1.5.1). Эта информация может дополняться периодической публикацией примеров успешного опыта в сфере энергоэффективности. Очень эффективным способом представления информации являются графические материалы, включая различные типы схем, графиков и диаграмм. В частности, в такой форме могут быть представлены данные о повышении энергоэффективности с течением времени, сравнительной результативности различных подразделений или предприятий и т.д. (см., в частности, раздел 2.2.1).

Важна организация информационного обмена не только «по вертикали» – между руководством, заинтересованным в достижении определенных целей, и сотрудниками, непосредственно работающими над их достижением, но и «по горизонтали» – между различными группами специалистов внутри компании. Это могут быть, например, группы, ответственные за менеджмент энергоэффективности, проектирование, эксплуатацию, планирование и финансы (см. раздел 2.2.1). В разделе 2.7.1 приведен пример эффективного метода графического представления потоков энергии.

Различные средства могут использоваться и для организации диалога с другими компаниями, обмена идеями и передовым опытом и т.д..

Задачи в сфере информационного обмена и укрепления мотивации могут включать, в частности:

- вовлечение всего персонала отдельной компании;
- организация взаимодействия нескольких компаний одной отрасли или подразделений одной компании с целью обмена опытом (рабочие группы, сетевое взаимодействие). Такие механизмы оказываются наиболее эффективными, если участвующие в них компании находятся примерно на одинаковом уровне внедрения менеджмента энергоэффективности. Сетевое взаимодействие особенно полезно при преодолении типичных трудностей, возникающих, например, при разработке показателей

энергоэффективности или организации системы мониторинга энергопотребления. Сетевое взаимодействие может также включать элемент соревнования в области энергоэффективности, а также обеспечивать платформу для переговоров с потенциальными поставщиками энергоэффективного оборудования или услуг;

- широкая демонстрация положительных результатов, например, путем учреждения наград за высокие результаты, наилучшие практические подходы и инновации.

Экологические преимущества

Вклад в повышение энергоэффективности.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как предполагается, отсутствует.

Производственная информация

Во многих организациях имеет место значительный поток информации, отражающей положение дел в таких многочисленных областях, как, например, охрана труда и производственная безопасность, эффективность производства, практические подходы, финансовая результативность. Многие сотрудники жалуются на «информационную перегрузку». Поэтому важно сосредоточиться на распространении действительно значимой и актуальной информации.

Методы информационного обмена могут нуждаться в периодическом пересмотре; необходимо также поддерживать актуальность информационных материалов (например, информационных стендов).

Применимость

Информационный обмен является инструментом, применимым в условиях любых установок. Характер и масштабы соответствующей деятельности зависят от условий конкретной установки. Например, на небольшой установке может быть достаточно непосредственного сообщения информации в ходе планерок; крупные организации часто издают корпоративные газеты.

Экономические аспекты

Зависят от характера деятельности и наличия существующих каналов информационного обмена. Возможно использование малозатратных методов, а вовлечение персонала в деятельность по повышению энергоэффективности способно обеспечить значительный экономический эффект.

Мотивы внедрения

Распространение данных об энергоэффективности, ведущее к сокращению затрат и т.д.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[249, TWG, 2007]

2.7.1. Диаграммы Сэнки

Общая характеристика

Диаграмма Сэнки (Sankey diagrams) представляет собой разновидность потоковой диаграммы, на которой толщина стрелок пропорциональна величине соответствующего потока. Они могут использоваться для визуального представления энергетических и материальных потоков в пределах определенного процесса или между процессами.

Как правило, этот вид диаграмм применяется для отображения данных о потоках вещества и энергии (но может применяться к финансовым потокам) и особенно полезен в условиях, когда нужно быстро и эффективно довести информацию до смешанной аудитории, объединяющей представителей различных специальностей.

Диаграммы Сэнки могут использоваться для целей информирования персонала (см. раздел 2.1), а также поддержания мотивации для дальнейшего развития инициатив в сфере энергоэффективности (раздел 2.5).

Доступно недорогое программное обеспечение, позволяющее строить диаграммы на основе таких источников данных, как, например, электронные таблицы.

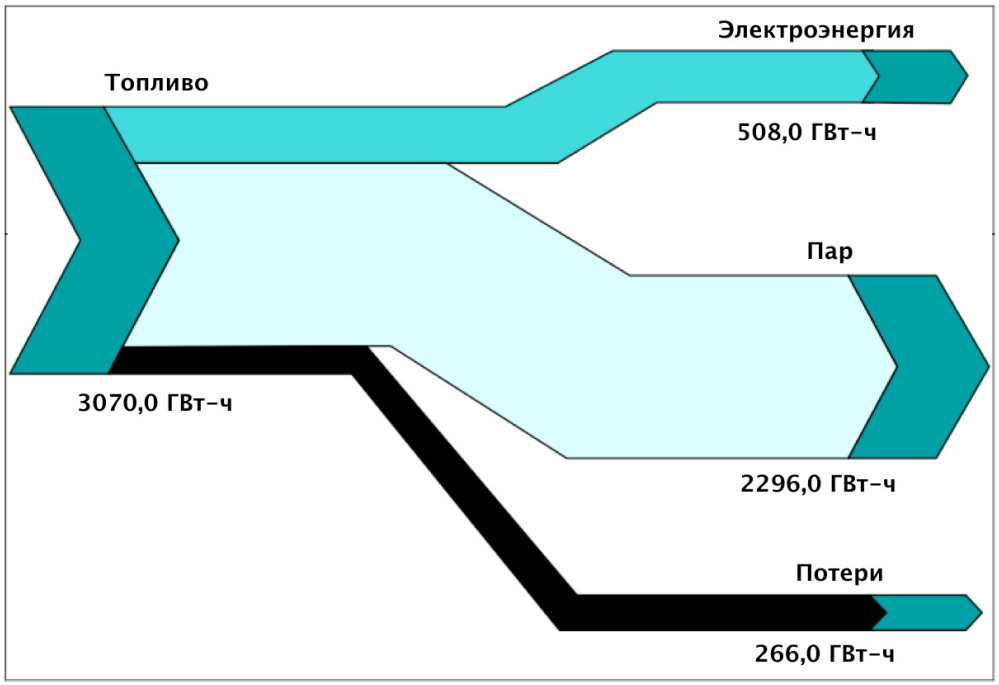


Рисунок 2.7: Пример диаграммы Сэнки: использование топлива и потери на типичном предприятии

[186, UBA_AT]

Экологические преимущества

Повышение качества информирования по вопросам энергоэффективности.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

См. «Общая характеристика».

Применимость

Все установки, на которых возникает потребность в визуальном представлении потоков энергии.

Экономические аспекты

Малозатратный метод.

Мотивы внедрения

Необходимость распространения информации об энергоэффективности.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

Бесплатный инструмент для построения диаграмм Сэнки на основе электронных таблиц MS Excel™ доступен в Интернете по адресу:

http://www.doka.ch/sankey.htm

[127, TWG, , 153, Wikipedia, , 186, UBA_AT]

2.8. Эффективный контроль технологических процессов

2.8.1. Автоматизированные системы управления технологическими процессами

Общая характеристика

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), используемые как для основных, так и для вспомогательных процессов, играют важную роль в управлении энергоэффективностью установки. АСУ ТП является составной частью общей системы мониторинга (см. разделы 2.10 и 2.15).

Автоматизация производственного предприятия подразумевает разработку и внедрение автоматизированной системы, в состав которой входят датчики, контроллеры, компьютеры, а также организацию обработки данных. Широко признано, что автоматизация производственных процессов позволяет не только повысить качество продукции и уровень производственной безопасности, но и улучшить общую эффективность производственного процесса, включая энергоэффективность.

Эффективный контроль технологических процессов подразумевает:

- адекватный контроль технологических процессов на всех этапах и во всех режимах, включая подготовительные операции, запуск, штатную эксплуатацию, остановку, а также работу в нештатных условиях;
- выявление ключевых показателей результативности в сфере энергоэффективности, а также методов, позволяющих измерять и контролировать эти параметры (например, массовый расход, давление, температура, состав и количество);
- документирование и анализ нештатных ситуаций и условий с целью выявления и последующего устранения их глубинных причин для предотвращения повторения подобных ситуаций в будущем (этому может способствовать организационная культура, не носящая «обвинительного» характера, в условиях которой выявление причин нештатной ситуации является более важным, чем «назначение» конкретных виновников).

Планирование

В ходе проектирования системы автоматизации производства следует рассмотреть ряд факторов. Так, начальный анализ конкретного процесса может выявить существующие ограничения для эффективности процесса, а также альтернативные подходы, способные обеспечить лучшие результаты.

Кроме того, необходимо определить требуемые режимы работы системы с точки зрения качества продукции, нормативных требований и производственной безопасности. Система управления должна быть надежной и дружественной к пользователю, т.е., легкой в эксплуатации и обслуживании.

Кроме того, при проектировании автоматизированной системы управления следует принять во внимание вопросы обработки данных и управления ими.

АСУ ТП должна обеспечивать баланс между точностью, соответствием заданным спецификациям и гибкостью с тем, чтобы достичь максимальной эффективности технологического процесса с учетом требований к производственным затратам.

Адекватные спецификации технологического процесса, предусмотренные в системе, обеспечивают бесперебойное функционирование производственной линии. Задание неоправданно узкого или широкого диапазона допустимых условий с неизбежностью влечет за собой рост производственных затрат и/или задержки в производственном процессе.

Для оптимизации производительности и эффективности процесса:

- задаваемые спецификации каждого этапа технологического процесса должны быть полными и точными, причем особое внимание должно быть уделено определению реалистичного диапазона допустимых условий;

- инженер, ответственный за проектирование системы управления, должен быть хорошо знаком с автоматизируемым процессом и иметь возможность консультироваться с производителем оборудования;
- должно быть найдено оптимальное соотношение между возможностями системы и реальными потребностями в автоматизации, т.е., следует принять решение о том, необходима ли сложная система управления или можно обойтись более простым решением.

В современных АСУ ТП используется ряд подходов, позволяющих повысить производительность и эффективность процесса, включая энергоэффективность. Эти подходы включают:

- традиционные и более сложные методы регулирования;
- методы оптимизации и планирования процессов, а также управления их результативностью.

К традиционным методам регулирования относятся, в частности:

- пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование;
- компенсация запаздывания;
- каскадное регулирование.

К более сложным методам регулирования относятся, в частности:

- упреждающее регулирование, основанное на моделях;
- адаптивное регулирование;
- нечеткое регулирование.

К методам управления результативностью относятся, в частности (см. раздел 2.8):

- мониторинг и установление целевых показателей;
- статистический контроль технологических процессов;
- экспертные системы.

Было продемонстрировано, что применение методов мониторинга результативности способно вносить вклад в повышение результативности, достижение поставленных целей, а также обеспечение соответствия требованиям экологического законодательства и разрешений КПКЗ.

Центральным элементом АСУ ТП является программируемый логический контроллер (ПЛК), представляющий собой небольшой компьютер, предназначенный для надежной эксплуатации в условиях промышленного производства. Помимо ПЛК, элементами системы являются разнообразные датчики, исполнительные устройства, а также централизованная система диспетчерского контроля и сбора данных (т.н. SCADA-система).

Все эти компоненты соединяются друг с другом и с производственным оборудованием, что позволяет управлять всеми функциями последнего с высокой степенью точности. Автоматизация – интеграция системы управления в технологическую систему – позволяет значительно снизить трудозатраты на эксплуатацию сложного оборудования, обеспечив надежную и стабильную производительность.

ПЛК получает входные данные с цифровых и аналоговых датчиков и переключателей, производит вычисления на основе заложенной в него программы и, используя результаты вычислений, управляет различными исполнительными устройствами – клапанами, реле, серводвигателями и т.п., подавая на них выходные данные. Управление осуществляется во временном масштабе миллисекунд.

ПЛК способен обмениваться информацией с оператором через операторские панели[26], а также SCADA-системы, установленные на производстве. Обмен данными с бизнес-уровнем

[26] Т.н. «панели HMI» – от английской аббревиатуры, означающей «человеко-машинный интерфейс». (*Прим. пер.*)

предприятия (корпоративные информационные системы, финансовый учет и планирование), как правило, требует отдельного SCADA-пакета.

Обработка данных

Данные о состоянии технологического процесса собираются и обрабатываются интегрированной системой, включающей датчики и контрольно-измерительные приборы, исполнительные устройства, например клапаны, а также программируемые логические контроллеры, SCADA-системы и распределенные системы управления. Все эти системы в совокупности способны своевременно обеспечивать необходимой информацией другие вычислительные системы, а также операторов и инженеров.

Системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA) позволяют инженеру, проектирующему АСУ ТП, организовать сбор и архивирование данных системы. Кроме того, SCADA-системы позволяют использовать более сложные методы управления, например, статистический контроль (см. раздел 2.8.2).

SCADA-система является неотъемлемой частью АСУ ТП, позволяя пользователю наблюдать параметры технологического процесса в реальном времени. Кроме того, SCADA-система может быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить удаленному пользователю тот же уровень доступа к информации о процессе, что и оператору, находящемуся непосредственно в производственных помещениях.

Экологические преимущества

Снижение затрат, связанных с энергопотреблением, а также воздействия на окружающую среду.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использование химических веществ в небольших количествах для очистки датчиков; возможная потеря давления в трубопроводах, вызванная наличием датчиков (см. раздел 2.10.4).

Производственная информация

См. «Общая характеристика» выше.

Очистка датчиков

Невозможно переоценить важность точности измерений и, как следствие, состояния датчиков, используемых в АСУ ТП. Существует множество разновидностей контрольно-измерительных приборов и датчиков, включая терморезисторы, кондуктометры, датчики pH или уровня, расходомеры, а также таймеры и устройства аварийной сигнализации. Многие из этих приборов находятся в постоянном контакте с жидкостями или газами. Надежная и точная работа всех этих устройств требует периодической очистки, которая может выполняться вручную, согласно графику техобслуживания, или при помощи автоматизированных систем «очистки на месте» (CIP).

Полностью автоматизированная система управления должна обеспечивать возможность промывки датчиков с различной периодичностью, а также регенерации используемых чистящих растворов. Система должна также обеспечивать возможность регулировки температуры, расхода, состава и концентрации чистящих растворов.

Автоматизированная система очистки датчиков, как правило, основана на ПЛК и имеет одну или несколько операторских панелей. Важная роль системы управления очисткой состоит в ограничении гидравлического удара – серьезной проблемы для систем CIP, приводящей к сокращению срока службы оборудования.

Для очистки клапанов и различных видов уплотнений, используемых в производственном оборудовании, необходима строго определенная последовательность импульсов.

Применимость

Системы управления технологическими процессами применимы в контексте любых установок КПКЗ. Они могут варьировать от простых систем, основанных на таймерах, датчиках температуры и системах подачи материалов (например, на небольших предприятиях

интенсивного животноводства) до сложных систем, применяемых, например, на предприятиях пищевой, химической, горнодобывающей или целлюлозно-бумажной промышленности.

Экономические аспекты

Практика показывает, что внедрение АСУ ТП может обеспечить значительный экономический эффект. Нередко срок окупаемости инвестиций составляет год или менее, в особенности, в тех случаях, когда на предприятии уже имеется современная инфраструктура управления и мониторинга, например, распределенная система управления или система диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA). В некоторых случаях был продемонстрирован срок окупаемости в несколько месяцев или даже недель.

Мотивы внедрения

Повышение производительности и уровня производственной безопасности, сокращение потребности в техническом обслуживании, увеличение срока службы технологического оборудования, более высокое и стабильное качество продукции, сокращение потребности в рабочей силе.

Сокращение производственных затрат и быстрая окупаемость инвестиций, продемонстрированные в ряде случаев (как отмечено выше), послужили серьезным стимулом для внедрения подобных систем на других предприятиях.

Примеры предприятия

АСУ ТП широко применяются в промышленности, в частности, на следующих предприятиях:

- производство продуктов питания, напитков и молока: British Sugar, Joshua Tetley, Ипсвич, Великобритания;
- химическая промышленность: BP Chemicals, Гулль, Великобритания; ICI Chemicals and Polymers, Миддлсборо, Великобритания;
- черная металлургия: Corus, Порт-Талбот, Великобритания;
- производство цемента и извести: Blue Circle, Вестбери, Великобритания;
- целлюлозно-бумажная промышленность: Stora Enso Langerbrugge N.V., Гент, Бельгия; SCA Hygiene Products GmbH, Мангейм, Германия; SCA Hygiene Products GmbH, Перниц, Австрия;
- сжигание в кипящем слое: Rovaniemi Energy, Rovaniemi and Alholmens Kraft, Пиетарсаари, Финляндия; E.ON, Кемсли, Великобритания.

Справочная информация

[36, ADENE, 2005] [261, Carbon_Trust_UK, 2005]

2.8.2. Менеджмент (контроль, обеспечение) качества

Общая характеристика

Отправка продукции в брак или на доработку эквивалентна непроизводительному расходу энергии, затраченной на ее производство (а также расходу сырья, трудовых ресурсов, производственных мощностей и прочих ресурсов). Нередко доработка бракованной продукции требует большего количества энергии (и других ресурсов), чем ее первоначальное производство. Эффективный контроль производственных процессов позволяет увеличить выход продукции, отвечающей установленным спецификациям или требованиям потребителей, и снизить непроизводительные энергозатраты.

Как правило, установки КПКЗ отличаются значительными масштабами производственной деятельности и/или объемами выпуска продукции. Эта продукция должна отвечать установленным спецификациям для последующего использования. С целью обеспечения этого соответствия на предприятиях внедряются системы обеспечения качества, как правило,

основанные на принципе «планирование–осуществление–проверка–корректировка» (см. раздел 2.1).

Первоначально в основе этих систем лежал контроль качества готовой продукции, по итогам которого изделия принимались, направлялись на доработку или отправлялись в брак. Начиная с 1940-х гг. разрабатывались статистические методы, позволявшие на основе выборки оценивать соответствие качества заданному уровню, например, 95 % или 3,4 дефекта на миллион (достижение последней величины является целью популярного подхода «шесть сигм»).

Было осознано, что характеристики готовой продукции неизбежно варьируют, и параметры этих вариаций определяются различными характеристиками производственного процесса. Были разработаны методы статистического контроля технологических процессов, применявшиеся к различным параметрам процесса с целью обеспечения более стабильных характеристик продукции. Методы статистического контроля могут быть очень эффективными с экономической точки зрения, поскольку они, как правило, требуют сбора и обработки уже существующих данных, а также принятия корректирующих мер для удержания в заданном диапазоне определенных параметров процесса (например, температуры, давления, химического состава, цветности и т.д.).

В то же время получили развитие подходы к обеспечению качества в масштабах компании (системы менеджмента качества). Такие подходы охватывают ряд политик, процессов и процедур, используемых в планировании и деятельности (производство/разработка/обслуживание) в основном бизнесе организации. Система менеджмента качества интегрирует различные внутренние процессы организации, стремясь обеспечить процессный подход к деятельности. Такая система позволяет организации выявлять, количественно характеризовать, контролировать и совершенствовать различные процессы в составе основного бизнеса, что, в конечном счете, ведет к повышению результативности организации. В настоящее время организационные модели обеспечения качества зафиксированы в международных стандартах серии ISO 9000 и других спецификациях систем менеджмента качества. Системы экологического менеджмента и менеджмента энергоэффективности основаны на тех же подходах (см. раздел 2.1).

Экологические преимущества

Сокращение объемов продукции, направляемой на доработку или в брак, что позволяет повысить выход готовой продукции и снизить непроизводительный расход энергии (в частности, с учетом того, что доработка некачественной продукции может требовать больших энергозатрат, чем ее первоначальное производство).

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

См. «Общая характеристика» выше.

При внедрении новых подходов и методологий в области качества часто привлекаются внешние консультанты и/или подрядчики, поскольку необходимые квалификация и опыт могут отсутствовать в самой организации. Кроме того, в ситуации, когда необходимы новые инициативы и действия по усовершенствованию существующих систем качества или производственных систем, привлечение консультантов на временной основе может быть разумным способом использования ресурсов.

При рассмотрении вопроса о внедрении системы менеджмента качества или других подходов в этой области целесообразно учитывать следующие соображения:

- приоритет должен отдаваться измерению параметров, существенных для обеспечения качества процесса или продукции, а не просто показателей, которые легко могут быть измерены;
- такие статистические методы, как «шесть сигм», результативны в тех областях, для которых они предназначены, но само их назначение ограничено – они могут использоваться для улучшения существующего процесса, но не для разработки новых видов продукции или прорывных технологий. Сам целевой уровень качества, лежащий в

основе этого подхода, (3,4 дефекта на миллион) является произвольным, т.е., он может быть уместен для одних видов продукции или процессов, но неуместен для других;

- различные походы в области обеспечения качества приобретают популярность в управленческих кругах, а затем теряют ее, так что жизненный цикл этих подходов может быть охарактеризован колоколообразной кривой, напоминающей нормальное распределение (см., например, информацию о кружках качества в подразделе «Примеры»);
- движение всеобъемлющего менеджмента качества (total quality management, TQM) сыграло положительную роль независимо от того, какое содержание вкладывали в это понятие конкретные менеджеры. Однако со временем репутация этого подхода ухудшилась, и в некоторых случаях он вызывает негативные ассоциации. Несмотря на это, такие подходы, как TQM и реинжиниринг бизнес-процессов оказали положительное влияние на современную практику, и лежащие в их основе идеи могут продуктивно использоваться, хотя названия этих подходов упоминаются редко;
- одной из причин утраты интереса к подобным подходам или их кажущегося провала может быть тот факт, что стандарты, подобные ISO 9000, делают акцент на соответствии спецификациям, контроле и процедурах, а не на понимании и улучшении. Это может привести компании к ошибочному заключению, что сертификация сама по себе подразумевает более высокое качество, и помешать им в выработке собственных подходов к обеспечению качества. Полная, слепая зависимость от требований стандартов ISO серии 9000 не является гарантией создания результативной системы менеджмента качества. Риск непродуктивного внедрения стандарта увеличивается в том случае, когда компании заинтересована, в первую очередь, в сертификации. Результатом может быть создание «бумажной» системы, не ведущей к улучшению деятельности организации;
- сертификация независимым органом часто рассматривается как проблемная область и подвергается критике как инструмент расширения рынка консультационных услуг. Сами авторы стандартов ISO серии 9000 отмечают, что последние могут внедряться без сертификации системы менеджмента, исключительно как средство повышения качества продукции.

Применимость

Подходы менеджмента качества применимы на всех производственных предприятиях, охватываемых Директивой КПКЗ. Характер и степень сложности соответствующих систем зависит от особенностей конкретного предприятия и может также определяться требованиями потребителя.

Экономические аспекты

Распространенным аргументом критиков формализованных систем менеджмента, подобных ISO 9000, являются затраты средств и времени, связанные с сертификацией такой системы. По мнению критиков, сертификация и подготовка к ней сводятся лишь к составлению документов и не приводят к реальным улучшением. Сторонники сертификации утверждают, что организация, выполнившая документирование систем качества для собственных целей, уже располагает большей частью необходимой документации.

Мотивы внедрения

Широко признано, что адекватный менеджмент качества способствует повышению результативности бизнеса, во многих случаях создавая условия для более эффективного использования инвестиций, увеличения доли рынка и объема продаж, повышения рентабельности и конкурентоспособности, а также предотвращения судебных исков.

Примеры

См. приложение 7.4.

Техника управления производственными процессами (Prozessleittechnik, Bayer AG, Германия, 1980) была разработана как подход, охватывающий вопросы измерений, управления процессами, а также соответствующих электротехнических систем. Этот подход представляет собой

статистическую и инженерную дисциплину, предметом которой являются архитектуры, механизмы и алгоритмы управления характеристиками производственных процессов и соответствующей продукции.

Позже были разработаны другие подходы к обеспечению качества, включая:

- «качество с первого раза» (right first time);
- «шесть сигм»: в пределах допуска находится шесть стандартных отклонений (что соответствует 3,4 дефекта на миллион);
- анализ измерительных систем (MSA);
- анализ характера и последствий отказов (FMEA)
- перспективное планирование качества продукции (APQP);
- всеобъемлющий менеджмент качества (TQM).

Другие инструменты, используемые в контексте статистического контроля процессов, включают диаграммы причинно-следственных связей, контрольные листы и карты, гистограммы, диаграммы Парето, а также расслоение (стратификацию) данных.

Еще один подход, который может использоваться в сочетании с перечисленными выше, – кружки качества. Такие кружки представляют собой небольшие группы сотрудников с одного участка производственного процесса, которые периодически встречаются на добровольной основе с целью выявления, анализа и решения проблем, возникающих в процессе производства. Преимуществом кружков качества является обеспечение преемственности, поскольку их состав в целом остается неизменным от проекта к проекту. Такие кружки применялись в Японии, а также в передовых скандинавских компаниях, хотя, как сообщается, в последнее время этот подход практически не используется.

Справочная информация

[163, Dow, 2005, 181, Wikipedia, , 182, Wikipedia, , 227, TWG, , 249, TWG, 2007]

Wikipedia предлагает ссылки на ряд материалов, посвященных положительным и отрицательным сторонам систем менеджмента качества.

Дальнейшая информация: см., например, сайт Американского общества качества (www.asq.org).

2.9. Техническое обслуживание

Общая характеристика

Техническое обслуживание (ТО) всех систем и оборудования является критически важным и составляет существенную часть СМЭЭ (см. п. 2.1(d) (vii).

Важнейшими требованиями являются наличие графика технического обслуживания, а также документирование всех инспекций оборудования и деятельности по техническому обслуживанию. Рекомендации по ТО конкретных видов оборудования приведены в соответствующих разделах.

Современные подходы к профилактическому ТО направлены на обеспечение нормального функционирования технологических процессов и систем на протяжении всего срока их службы. Графики профилактического ТО традиционно составлялись в бумажном виде и доводились до исполнителей при помощи карт или стендов, однако сейчас эти задачи решаются при помощи компьютерных систем. Выдавая список работ по плановому ТО на ежедневной основе, соответствующее программное обеспечение поддерживает полное и своевременное выполнение соответствующих задач.

Важно обеспечить интеграцию баз данных, содержащих информацию о графике ТО и технических характеристиках оборудования, с другими программными системами, имеющими отношение к ТО и управлению производственным процессом. При классификации работ по ТО и формировании соответствующей отчетности часто используются такие материалы, как

отраслевые стандарты ТО. При выборе и настройке необходимого программного обеспечения можно ориентироваться, в частности, на требования стандартов ISO серии 9000 относительно ТО.

Использование программных инструментов способствует документированию возникающих проблем, а также накоплению статистических данных по отказам и частоте их возникновения. Инструменты моделирования могут быть полезны для прогнозирования отказов, а также при проектировании оборудования.

Операторы производственных процессов должны принимать плановые и внеплановые меры по поддержанию порядка на производственных участках и надлежащего состояния оборудования, включая:

- очистку загрязненных поверхностей и трубопроводов;
- обеспечение оптимальной настройки регулируемого оборудования (например, печатного);
- отключение неиспользуемого оборудования или оборудования, необходимость функционирования которого в данный момент отсутствует;
- выявление утечек (например, сжатого воздуха или пара), неисправного оборудования, трещин в трубах и т.д., и сообщение об этом;
- своевременная подача заявок на замену изношенных подшипников.

Экологические преимущества

Энергосбережение. Снижение уровня шума (например, от изношенных подшипников или утечек пара).

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не ожидается.

Производственная информация

Содержание программы ТО зависит от условий конкретной установки. Необходимо выявлять утечки, неисправности оборудования, изношенные подшипники и т.д., в особенности, способные повлиять на энергопотребление, и устранять их при первой же возможности.

Применимость

Применимо на любых установках.

Там, где это применимо, должен быть обеспечен баланс между оперативным устранением неисправностей и необходимостью обеспечения качества продукции, стабильности производственного процесса, а также здоровья и безопасности персонала при выполнении ремонтных работ на действующем предприятии (где может находиться оборудование с движущимися частями, имеющее высокую температуру и т.п.).

Экономические аспекты

Зависят от конкретной установки.

Меры по поддержанию порядка на производственных участках представляют собой малозатратные мероприятия; соответствующие затраты, как правило, оплачиваются из ежегодных поступлений, находящихся в распоряжении менеджеров, и не требуют капитальных инвестиций.

Мотивы внедрения

В целом считается, что хорошая организация ТО позволяет повысить надежность производственного оборудования и сократить продолжительность простоев, а также способствует повышению производительности и качества.

Примеры

Широко применяется во всех отраслях.

Справочная информация

Несколько Справочных документов [125, EIPPCB, , 159, EIPPCB, 2006, 254, EIPPCB, 2005, 267, EIPPCB, 2006].

2.10. Мониторинг и измерения

Мониторинг и измерения представляют собой важную часть этапа «проверки» в цикле «планирование–осуществление–проверка–корректировка», на котором основаны СМЭЭ (см. п. 2.1(f)(i)) и другие системы менеджмента. В этом разделе обсуждаются некоторые возможные подходы к измерению, расчету и мониторингу ключевых характеристик деятельности, значимых с точки зрения энергоэффективности. В разделе 2.15.1 также обсуждаются вопросы сбора данных, управления базами данных и автоматизации управления производством с целью оптимизации энергопотребления, в особенности, при наличии нескольких взаимосвязанных систем.

Измерения и мониторинг могут осуществляться в контексте управления технологическими процессами (см. раздел 2.8), а также аудитов (см. раздел 2.11). Измерения важны для получения достоверной и прослеживаемой информации по вопросам, связанным с энергоэффективностью. Это может быть информация как о объемах потребления ресурсов (МВТ-ч электроэнергии, кг пара и т.п.), так и о характеристиках (например, температуре или давлении) определенных энергоресурсов (пара, горячей воды, охладительной воды и т.п.). Для некоторых ресурсов столь же важной может быть информация о содержании энергии в возвратных или отходящих потоках (например, отходящих газах, сбрасываемой охладительной воде и т.п.), необходимая для анализа энергопотребления и составления энергетических балансов (см. «Примеры» к разделу 2.12).

Одной из важнейших задач мониторинга и измерений является обеспечение учета затрат, основанного на фактическом энергопотреблении, а не на произвольных предположениях или оценках, которые могут устаревать со временем. Наличие данных, отражающих реальную картину энергозатрат, способно придать импульс деятельности по повышению энергоэффективности. Однако на существующих предприятиях установка новых измерительных устройств может быть сопряжена со сложностями – например, может оказаться затруднительным найти достаточно длинный прямой участок трубы, обеспечивающий ламинарное течение, необходимое для измерения массового расхода. В подобных случаях или в тех ситуациях, когда энергопотребление устройства или вида деятельности относительно невелико (по сравнению с общим потреблением установки или системы, в состав которых они входят), могут использоваться оценки и расчетные значения.

В данном разделе не обсуждаются вопросы документирования измерений и другие процедуры, требуемые в рамках СМЭЭ.

Управление производственным процессом часто требует измерения материальных потоков, и эти данные могут использоваться при формировании показателей энергоэффективности (см. раздел 1.4).

2.10.1. Косвенные методы мониторинга

Общая характеристика

Инфракрасное сканирование тяжелого оборудования позволяет выявить участки с повышенной температурой, которые могут быть связаны с потерями энергии, а также избыточной нагрузкой на движущиеся части. Эта методика может использоваться, в частности, при энергетических аудитах.

Для критических элементов оборудования, от которых зависит энергопотребление, например, подшипников, конденсаторов (см. раздел 3.5.1) и других узлов, может осуществляться постоянный или периодический мониторинг рабочей температуры. Повышение температуры корпуса указывает на то, что узел выходит из строя.

Возможны и другие признаки увеличения потерь энергии, например, повышение уровня шума.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные виды воздействия отсутствуют.

Производственная информация

См. «Общая характеристика» выше.

Применимость

Широко применяется.

Экономические аспекты

Зависит от конкретной ситуации.

Мотивы внедрения

При применении в контексте профилактического ТО позволяет внести вклад в:

- предотвращение внеплановых остановок производства;
- организацию своевременной замены оборудования;
- продление срока службы оборудования и т.д.

Примеры

- широко применятся, например, на предприятии Aughinish Alumina (AAL), Ирландия;
- см. разделы 3.2, 3.7 и т.д.

Справочная информация

[161, SEI, 2006, 183, Bovankovich, 2007] [55, Best practice programme, 1998, 56, Best practice programme, 1996, 98, Sitny, 2006]

2.10.2. Оценки и расчеты

Общая характеристика

Оценки и расчеты энергопотребления могут быть сделаны для различных элементов оборудования, как правило, на основе спецификаций производителя или разработчика. Часто оценки основаны на измерении легко определяемого параметра, например, продолжительности работы устройства. Однако в этом случае для расчета энергопотребления необходима информация о других параметрах, например, нагрузке, давлении или скорости вращения вала. Во многих случаях такая информация может быть получена у производителя оборудования.

В Интернете доступно большое количество калькуляторов энергоэффективности (см. «Справочная информация» ниже, а также ссылки в разделах, посвященных отдельным видам оборудования). Как правило, они ориентированы на оценку возможного энергосбережения при использовании различных видов оборудования.

Экологические преимущества

Способствует выявлению и реализации потенциала энергосбережения.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные виды воздействия отсутствуют.

Производственная информация

См. «Общая характеристика» выше.

Применимость

Широко применяется. Принимая решение о целесообразности использования калькуляторов, следует принять во внимание потенциальную экономию в результате использования более точных методов измерения и учета, хотя бы на временной основе.

Онлайновые калькуляторы следует применять с осторожностью, имея в виду следующее:

- основным назначением калькулятора может быть сравнение стоимости энергоресурсов от разных поставщиков;
- необходимо иметь в виду рекомендацию, приведенную в разделе 2.2.2: оптимизацию следует начинать с анализа системы в целом, а не отдельных элементов оборудования;
- онлайновые калькуляторы могут быть слишком примитивными, не принимая во внимание таких существенных параметров, как нагрузка, давление и т.д. (см. «Общая характеристика» выше).

Одной из проблем, связанных с использованием калькуляторов или оценок, является то, что при длительном применении лежащие в их основе предположения и методики могут устареть вследствие изменения условий, или информация о них может быть утрачена. Это может привести к дорогостоящим ошибкам (см. примеры в разделе 7.7.1). Поэтому методика и предположения, лежащие в основе калькуляторов, должны регулярно пересматриваться.

Экономические аспекты

Не требует инвестиций в оборудование; однако следует учесть затраты рабочего времени на выполнение точных вычислений, а также риск потерь в результате ошибок.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат.

Примеры

Широко применяется. Примеры онлайновых калькуляторов приведены ниже (см. «Справочная информация»).

Справочная информация

[270, Tempany, 2008]

Следующие ресурсы были найдены в Интернете поиском по словам «энергоэффективность в промышленности, калькуляторы» ('industrial energy efficiency, calculators'); качество калькуляторов не проверялось (примечание: адреса этих ресурсов могут измениться, или ресурсы могут прекратить существование):

- центр онлайновых калькуляторов. Ссылки на большое количество энергетических калькуляторов:

http://www.martindalecenter.com/Calculators1A_4_Util.html

- нижеследующий сайт создан в помощь менеджерам малых и средних производственных предприятий, желающих оценить потенциальные объемы энергосбережения и экономический эффект в результате применения мер по повышению энергоэффективности:

http://www.ceere.org/iac/assessment%20tool/index.html

- энергетические калькуляторы и инструменты сравнительной оценки:

http://energypathfinder.blogspot.com/2007/02/energy-calculators-and-benchmarking.html

- энергопотребление общего характера, освещение, оборудование, офисное оборудование:

http://www1.eere.energy.gov/femp/procurement/eep_eccalculators.html

- калькуляторы по приводам переменной скорости: вентиляторы, насосы, холодная и горячая вода, вентиляторы градирен:

http://www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p010794.hcsp

- освещение:

http://www1.eere.energy.gov/femp/procurement/eep_hid_lumen.html

- котлы, ОВКВ, освещение, приводы переменной скорости:

http://www.alliantenergy.com/docs/groups/public/documents/pub/p013446.hcsp

- калькуляторы энергопотребления и энергоемкости:

http://oee.nrcan.gc.ca/commercial/technical-info/tools/gigajoule.cfm?attr=20

- КПД котлов:

http://oee.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/tools/boilers/index.cfm?attr=24

- потери тепла, промышленные здания:

http://www.energyideas.org/default.cfm?o=h,g,ds&c=z,z,2633

2.10.3. Учет потребления энергоресурсов и усовершенствованные системы учета

Общая характеристика

Традиционные устройства учета просто измеряют количество того или иного энергоресурса, потребляемого установкой, системой или видом деятельности. Показания таких устройств, как правило, снимаемые вручную, служат основой для выставления счетов за энергопотребление. Однако развитие технологий привело к появлению недорогих устройств учета, которые могут устанавливаться без временного прерывания энергоснабжения (в случае использования разъемных датчиков) и занимают гораздо меньше места, чем традиционные счетчики.

Понятия «усовершенствованная инфраструктура учета» (УИУ) и «усовершенствованное управление учетом» (УУУ) относятся к системам, которые обеспечивают измерение потребления при помощи таких устройств, как усовершенствованные счетчики электроэнергии, воды или газа, а также сбор (при помощи различных средств коммуникации) и анализ данных от счетчиков по запросу оператора или по заранее определенному графику. Эта инфраструктура включает аппаратное и программное обеспечение для передачи данных, поддержки связанных с учетом систем потребителя, а также управления данными учета.

Центры учета энергии представляют собой производственные единицы предприятия, энергопотребление которых может быть соотнесено с характеристиками производственного процесса, например объемом выпуска продукции (см. раздел 1.4). Возможная структура усовершенствованной системы учета представлена на рис. 2.8.

Усовершенствованная система учета является важным элементом автоматизированной системы управления энергетикой предприятия (см. разделы 2.15 и 2.15.2).

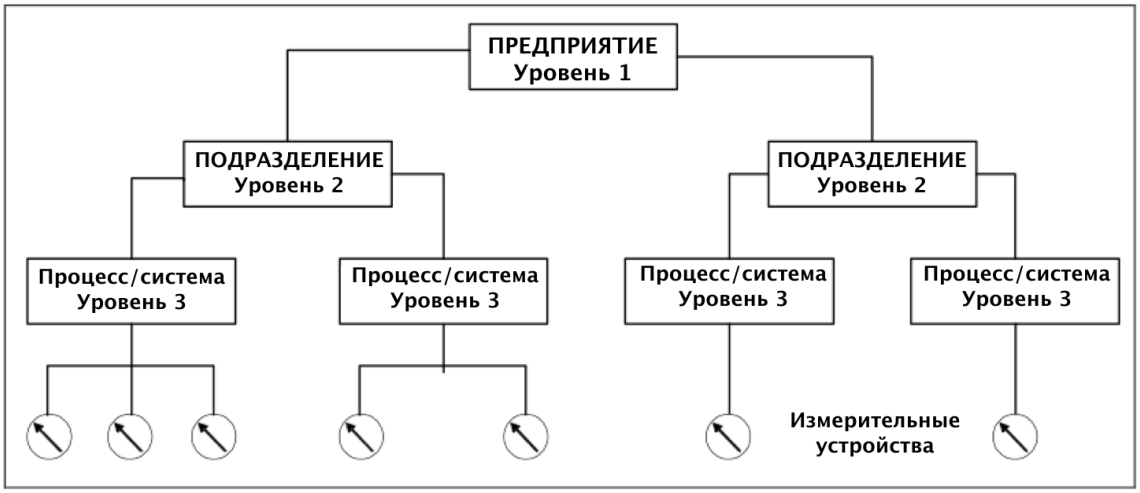


Рисунок 2.8: Структура усовершенствованной системы учета

[98, Sitny, 2006]

Экологические преимущества

Улучшение управления энергопотреблением.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

Позволяет точно измерять энергопотребление на уровне центров учета энергии – отдельных подразделений или систем в составе предприятия.

Применимость

При наличии более чем одной энергопотребляющей производственной единицы.

По данным ряда исследований, одним из основных факторов, препятствующих внедрению методов повышения энергоэффективности, является то, что менеджеры отдельных производственных единиц не имеют возможности определять и контролировать затраты, связанные с энергопотреблением их подразделений. Вследствие этого они не имеют стимулов для повышения энергоэффективности.

Экономические аспекты

Распределение затрат на основе фактического энергопотребления.

Мотивы внедрения

См. «Экономические аспекты».

Примеры

См. приложение 7.7.1.

Справочная информация

[183, Bovankovich, 2007]; Schott glass: [127, TWG]; больница «Атриум», Хеерлен, Нидерланды [179, Stijns, 2005]

2.10.4. Снижение потери давления при измерении расходов в трубопроводах

Общая характеристика

Измерение характеристик потока используется для учета расхода жидких и газообразных материалов и продуктов, включая воду (например, сырой или технологической воды, питательной воды котла), пар и т.п. Обычно для измерения расхода потока используются приборы, такие как измерительные диафрагмы, трубки Вентури или Пито, а также индуктивные расходомеры. Как правило, измерение расхода при помощи этих устройств, в особенности измерительных диафрагм и трубок Вентури, приводит к постоянной потере давления и, как следствие, к потерям энергии в системе.

Новое поколение измерительных устройств позволяет значительно снизить потерю давления с одновременным повышением точности измерения.

Ультразвуковое измерение расхода может применяться в случае проводящих ультразвук жидкостей, поток которых является в достаточной степени ламинарным (не турбулентным). Ультразвуковые расходомеры могут быть стационарными или портативными; в последнем случае датчики устанавливаются на трубе на время измерений. Портативные расходомеры могут использоваться для калибровки существующих стационарных расходомеров, контроля и калибровки трубопроводных систем и т.п. Поскольку при этом не нарушается течение потока, ультразвуковые устройства не приводят к потере давления. Точность ультразвуковых расходомеров может составлять 1–3%, иногда достигая 0,5%; особенности калибровки зависят от конкретного применения.

Экологические преимущества

Расходомеры и трубки Пито нового поколения отличаются высокой точностью и позволяют снизить потери энергии, связанные с потерей давления, до уровня в 1–2% потерь при

использовании традиционной измерительной диафрагмы и около 8% потерь при использовании традиционной трубки Пито.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

Параметр	**ТЭС, пар высокого давления**	**Сжигание отходов, перегретый пар**
Q_{max} (т/ч)	200	45
T (°C)	545	400
P (бар абс.)	255	40
Диаметр трубы (мм)	157	130,7
Дифференциальное давление, мбар (приблизительно):		
Измерительные диафрагмы	2580	1850
Традиционные трубки Пито	1770	595
Трубки Пито нового поколения	1288	444
Постоянная потеря давления на измерительной системе, мбар (приблизительно):		
Измерительные диафрагмы	993	914
Традиционные трубки Пито	237	99
Трубки Пито нового поколения	19,3	7,3
Потери кинетической энергии на измерительной системе, кВт·ч/ч (в предположении, что 100 мбар примерно соответствует 67,8 кВт·ч/ч) (приблизительно):		
Измерительные диафрагмы	673	620
Традиционные трубки Пито	161	67
Трубки Пито нового поколения	13	5

Таблица 2.5: Примерные потери давления и энергии при использовании различных измерительных устройств

Применимость

Новые установки или масштабная реконструкция.

При использовании ультразвуковых расходомеров необходимо убедиться в том, что турбулентность потока не превосходит допустимого уровня, и учесть другие значимые эффекты (например, влияние взвешенных частиц).

Экономические аспекты

Стоимость измерительного устройства нового поколения, включая затраты на установку, составляет около 10 тыс. евро. Эта величина может варьировать в зависимости от количества устанавливаемых устройств. Срок окупаемости инвестиций, как правило, не превышает одного года.

Мотивы внедрения

Снижение затрат. Повышение точности данных, используемых для управления технологическим процессом, дополнительный потенциал оптимизации (см. раздел 2.6).

Примеры

- см. «Производственная информация» выше;
- широко применяется во всех отраслях;

- другие примеры измерительных устройств нового поколения – ультразвуковые расходомеры (производственная информация отсутствует) и датчики Поттера.

Справочная информация

www.flowmeters.f2s.com/article.htm;www.pvt-tec.de

2.11. Энергоаудиты и энергетическая диагностика

Общая характеристика

В наиболее общем смысле аудит представляет собой оценку лица, организации, системы, процесса, проекта или вида продукции. Аудиты осуществляются для оценки надежности и достоверности информации, а также оценки внутренних систем управления. Традиционно основным предметом аудита была финансовая деятельность и соответствующая отчетность. Однако в последнее время развиваются и другие виды аудита, например, экологический аудит [182, Wikipedia]. Аудит предполагает выборочное обследование или выборочную проверку информации, и не существует гарантий того, что выводы аудита свободны от ошибок. Однако целью аудита является сведение возможных ошибок к минимуму, что позволяет обеспечить надежность и достоверность информации.

К настоящему времени получил широкое распространение термин «энергоаудит», под которым понимается систематическое обследование и анализ энергетических потоков здания, процесса или системы, направленные на получение картины энергопотребления исследуемой системы и определяющих его факторов. Как правило, энергоаудит организуется с целью выявления возможностей для сокращения энергопотребления системы без негативного влияния на ее производительность или другие полезные функции, выполняемые системой.

Понятие энергетической диагностики может включать детальный начальный аудит, но может распространяться и на более широкую деятельность, включающую определение условий и рамок аудита: методик, требований к качеству и прозрачности аудита, независимости аудиторов и т.п. [250, ADEME, 2006]

На практике существует широкий круг возможных подходов к организации энергоаудита. Конкретный подход может выбираться в зависимости от текущего этапа внедрения менеджмента энергоэффективности и/или сложности ситуации. Возможные диапазоны области аудита, его детальности и задач продемонстрированы на рис. 2.9:

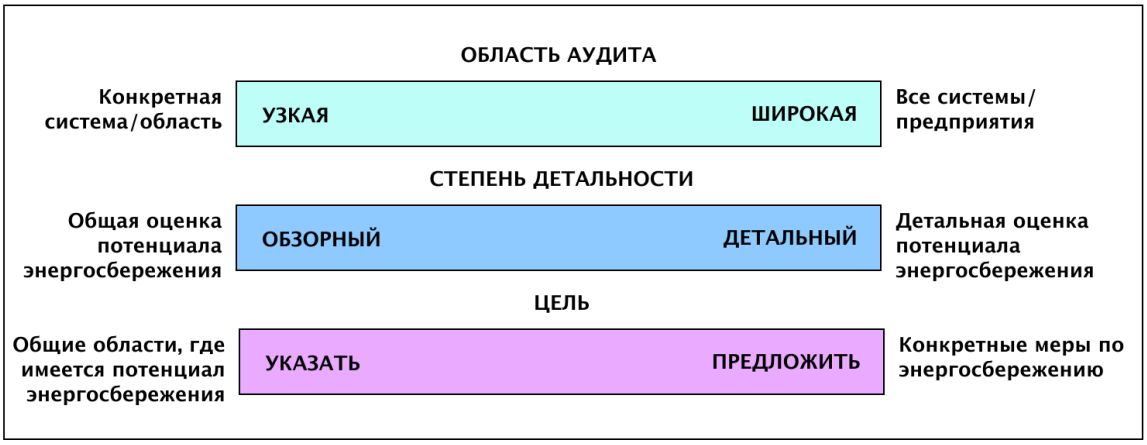


Рисунок 2.9: Характеристики различных моделей энергоаудита

[7, Lytras, 2005]

Некоторые инструменты, которые могут использоваться для стандартизации подходов к энергоаудиту, перечислены в приложении 7.8.

Различные модели энергоаудита могут быть разделены на два основных типа в соответствии со своими задачами:

1. Диагностические модели аудита.

2. Аналитические модели.

В пределах каждого из двух типов существует ряд моделей, различающихся предметом и степенью детальности аудита. На практике может быть подобрана конкретная модель аудита, наилучшим образом отвечающая потребностям ситуации.

Существуют определенные стандарты энергоаудита, разработанные, как правило, внутри аудиторских компаний или схем повышения энергоэффективности. Недавно был разработан первый национальный стандарт энергоаудита, содержащий, в частности:

- методику проведения энергетической диагностики;
- общие задачи, а также принципы энергоаудита, в т.ч. объективность, независимость и прозрачность;
- рекомендации по обеспечению высокого качества аудита.

С точки зрения оператора, преимуществом использования стандартов является то, что они предлагают определенную методологию аудита, создают основу для ведения диалога, позволяют экономить время и содержат образцы итоговой документации аудита (списки оборудования, энергетические балансы, план мониторинга и т.д.).

Особой разновидностью аудита является инвестиционный аудит, целью которого является оценка предлагаемых вариантов инвестиций в повышение энергоэффективности. Одной из важнейших особенностей этого вида аудита является оценка погрешностей прогнозов энергосбережения в результате предлагаемых инвестиций. Если компания предполагает инвестировать в повышение энергоэффективности, например, 1 млн. евро, она должна знать риски, относящиеся к ожидаемым объемам энергосбережения, а также методы минимизации этих рисков (риски могут быть связаны, например, с погрешностями вычислений и различными факторами неопределенности).

Как и финансовые аудиты, энергоаудиты могут выполняться сотрудниками самой организации или привлеченными внешними консультантами в зависимости от задач аудита, сложности предмета и наличия необходимых ресурсов. Некоторые малые и средние предприятия могут не располагать необходимым собственным опытом и прибегать к услугам внешних консультантов (в особенности, если услуги консультантов для таких предприятий субсидируются в рамках инициатив по повышению энергоэффективности, см. приложение 7.12). Крупные энергопотребляющие организации или подразделения могут использовать для этих целей собственных сотрудников, но могут и прибегать к услугам внешних консультантов для проведения дополнительных или разовых аудитов, а также использовать временные группы, укомплектованные сотрудниками других подразделений или предприятий компании (см. разделы 2.5 и 2.6).

1. Диагностические модели аудита

Основной целью аудитов этого типа является выявление областей, в которых существует (или может существовать) потенциал энергосбережения, а также предложение наиболее очевидных мер по энергосбережению. Задачи такого аудита не включают подробного анализа возможного экономического эффекта, а также тщательной проработки предлагаемых мер. Поэтому перед принятием любых действий по итогам аудита данного типа необходим дополнительный анализ этих действий.

Аудит диагностического типа является оптимальным выбором в условиях, когда необходимо провести обследование и анализ крупного производства за короткий промежуток времени. Как правило, аудит такого типа не требует значительных финансовых и временных затрат. Возможно, диагностический аудит сам по себе не принесет значительной отдачи оператору, поскольку по его итогам не будет предложено проработанного плана мероприятий, но, как правило, такой аудит позволяет наметить ключевые области для дальнейшего исследования. Существует две основных разновидности диагностических аудитов, которые рассматриваются ниже:

- обзорный энергоаудит;
- предварительный энергоаудит.

Обзорный энергоаудит

Обзорный энергоаудит уместен в условиях малых и средних промышленных предприятий, где производственный процесс не отличается высокой сложностью с точки зрения потоков первичной и вторичной энергии, взаимосвязи процессов, возможностей рекуперации низкопотенциального тепла и т.д.

Результатами обзорного энергоаудита являются общий обзор энергопотребления объекта, а также рекомендации по наиболее очевидным мерам энергосбережения и областям, требующим дополнительного исследования (организации дополнительных аудитов «второго уровня»).

Предварительный энергоаудит

Диагностический энергоаудит, выполняемый в условиях крупного предприятия, часто называют предварительным энергоаудитом или предварительной оценкой. Как правило, аудиты такого рода проводятся на крупных промышленных предприятиях. Хотя основные цели предварительного и обзорного энергоаудита совпадают, масштаб и характер производства требуют применения иных подходов.

Основная работа в рамках предварительного энергоаудита сосредоточена на получении четкой картины энергопотребления предприятия в настоящий момент, а также определении областей, в которых имеет место значительное энергопотребление. По результатам аудита этого типа могут также предлагаться возможные меры по энергосбережению и отмечаться области, в которых целесообразно проведение более детальных аудитов «второго уровня», вместе с приоритетными задачами для этих аудитов.

Как правило, предварительный энергоаудит выполняется группой экспертов. При этом успешное его проведение требует глубокого понимания как методик аудита, так и конкретного производственного процесса, поэтому предварительный энергоаудит всегда требует активного содействия со стороны технического персонала предприятия.

2. Аналитические модели аудита

Результатом энергоаудита аналитического типа является подробная спецификация мер по повышению энергоэффективности, дающая клиенту информацию, достаточную для принятия решений. Аудиты этого типа требуют большего объема финансовых затрат и усилий, и занимают больше времени, однако позволяют выработать конкретные предложения по энергосбережению. Результаты аудита позволяют оператору оценить существующий потенциал энергосбережения и возможные меры, не прибегая к дополнительным исследованиям.

Существуют две основных разновидности аналитического энергоаудита:

- выборочный энергоаудит, при котором аудитор имеет возможность самостоятельно выбрать приоритетные области;
- целевой энергоаудит, при котором приоритеты определяются оператором. Целевой аудит может быть:
    - энергоаудитом конкретной системы;
    - полным (комплексным) энергоаудитом.

Выборочный энергоаудит

Выборочный энергоаудит сосредоточен на возможностях для значительного энергосбережения и не уделяет существенного внимания областям, в которых потенциал энергосбережения невелик. Эта модель аудита отличается очень высокой экономической эффективностью в случае привлечения опытных аудиторов, способных правильно определить приоритетные области. Однако при недостатке квалификации такой аудит может свестись к «снятию сливок» – анализу наиболее очевидных мер. Всегда существует риск того, что после выявления нескольких значительных возможностей для энергосбережения не будет уделено должного внимания анализу дальнейшего потенциала.

Целевой энергоаудит

Программа целевого энергоаудита определяется подробными инструкциями заказчика, т.е. большинство областей и систем, которым будет уделено приоритетное внимание аудиторов, известно заранее. Инструкции заказчика могут подразумевать исключение из программы аудита определенных областей, например, по тем причинам, что они менее значимы с точки зрения энергозатрат, или имеющийся в них потенциал энергосбережения может быть легко реализован.

Как правило, результатами целевого энергоаудита являются детальная разбивка энергопотребления по конкретным потребителям, а также подробные расчеты по возможностям для энергосбережения и необходимым инвестициям. Если инструкции заказчика являются адекватными, по итогам аудита может быть подготовлен стандартный отчет.

С точки зрения заказчика (компании-оператора) всегда существует риск того, что в отсутствие надлежащего контроля качества характер целевого аудита будет постепенно смещаться в сторону аудита выборочного, поскольку последний оставляет аудиторам больше свободы действий и часто требует от них меньших усилий.

Энергоаудит конкретной системы

Простейшим примером целевого энергоаудита является аудит конкретной системы. Для этого вида аудита характерна ограниченность предмета (отдельной системы, процесса или определенного оборудования) в сочетании с детальностью его анализа. Преимущество этого вида аудита состоит в том, что он позволяет привлечь специалистов по конкретной системе, и это может оказаться более продуктивным, чем обращение к аудиторам широкого профиля.

Результатами подобного энергоаудита являются подробная характеристика исследованной системы, перечень возможных мер по повышению энергоэффективности системы и, возможно, анализ экономической эффективности этих мер.

Разумным подходом является сочетание этого вида аудита с более широкими походами, например, проведение предварительного аудита всего предприятия с последующим энергоаудитом отдельных систем, для которых в ходе предварительного аудита был выявлен значительный потенциал энергосбережения.

Во многих случаях энергоаудит отдельной системы позволяет выявить более высокий относительный потенциал энергосбережения (по отношению к общему энергопотреблению соответствующей системы). Однако проблема состоит в том, что при рассмотрении отдельной системы существует риск «местной оптимизации», которая не будет наилучшим вариантом с точки зрения энергоэффективности предприятия в целом. Например, при анализе изолированной системы охлаждения или обеспечения сжатым воздухом невозможно оценить возможности для рекуперации тепла, поскольку в контексте отдельной системы неизвестно, каковы наиболее эффективные способы использования тепловой энергии на предприятии. Энергетические системы редко независимы друг от друга – как правило, они взаимосвязаны в той или иной степени.

Полный энергоаудит

Полный (комплексный) энергоаудит представляет собой наиболее широкую форму целевого аудита (см. рис. 2.10). Он охватывает практически все энергопотребление предприятия, включая механические и электрические системы, все энергопотребляющие основные и вспомогательные технологические процессы и т.д. Из рассмотрения могут быть исключены некоторые несущественные системы, вклад которых в общее энергопотребление заведомо мал (например, электрические ворота).

Отличие полного энергоаудита от других разновидностей целевого аудита состоит в том, что последние могут оставлять вне рассмотрения некоторые заранее определенные области энергопотребления предприятия, в то время как полный аудит охватывает энергопотребление практически полностью (возможно, за некоторыми незначительными исключениями).

Первым этапом полного аудита является подробная разбивка общего энергопотребления по конкретным подразделениям и системам. В материалах такого аудита содержатся определенные выводы по всем системам, входящим в заранее определенную область аудита, независимо от их потенциала энергосбережения. В ходе аудита выявляются все существенные возможности

повышения энергоэффективности; для них выполняются подробные расчеты ожидаемого объема энергосбережения и необходимых инвестиций.

По итогам аудита этого типа может быть подготовлен подробный аудиторский отчет стандартного формата, который затем может использоваться компанией-заказчиком для решения различных задач, в частности, организации контроля качества и мониторинга.

Экологические преимущества

Поскольку энергоаудит позволяет выявить основные энергопотребляющие виды деятельности или элементы в составе производственной единицы, процесса или предприятия, а также прояснить характер энергопотребления, отраженные в отчете выводы аудита могут использоваться для выявления экономически эффективных возможностей энергосбережения и определения приоритетных действий.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

См. «Общая характеристика» выше.

Применимость

См. «Общая характеристика» выше.

Тип и оптимальная периодичность энергоаудита определяются особенностями конкретного предприятия. Как правило, потребностям малых и средних предприятий лучше всего отвечает обзорный аудит.

Первый энергоаудит может быть выполнен для начальной оценки состояния энергоэффективности определенной установки или системы. Последующие аудиты должны проводиться после значительных модификаций установки, способных повлиять на объемы производства и/или потребления энергии, существенного изменения характеристик производственного процесса и т.д. Этот подход подразумевает, что все аудиты являются полными (комплексными). Однако и в отсутствие существенных изменений следует проводить периодические аудиты с тем, чтобы убедиться в отсутствии постепенного снижения энергоэффективности производства.

Другой подход подразумевает проведение начального энергоаудита предварительного типа, в ходе которого выявляются области для более детального аудита. График аудитов этих областей составляется исходя из таких факторов, как предполагаемая легкость внедрения методов повышения энергоэффективности, потребностей в капитальных затратах и т.д. (см. раздел 2.2.1). При этом конкретная система может становиться предметом детального аудита лишь изредка, но в пределах установки могут осуществляться регулярные аудиты различных систем.

Экономические аспекты

См. «Общая характеристика» выше.

Движущие силы внедрения

- сокращение затрат;
- обеспечение соответствия требованиям в области энергоэффективности и т.д.

Примеры

Широко применяется. Полный энергоаудит организации может следовать схеме, приведенной на рис. 2.10.

Национальный стандарт Франции: Методы энергетической диагностики в промышленности. AFNOR BP X30-120.

Справочная информация

[7, Lytras, 2005, 31, Despretz, , 40, ADENE, 2005, 92, Motiva Oy, 2005, 165, BESS_EIS, , 227, TWG, , 250, ADEME, 2006]

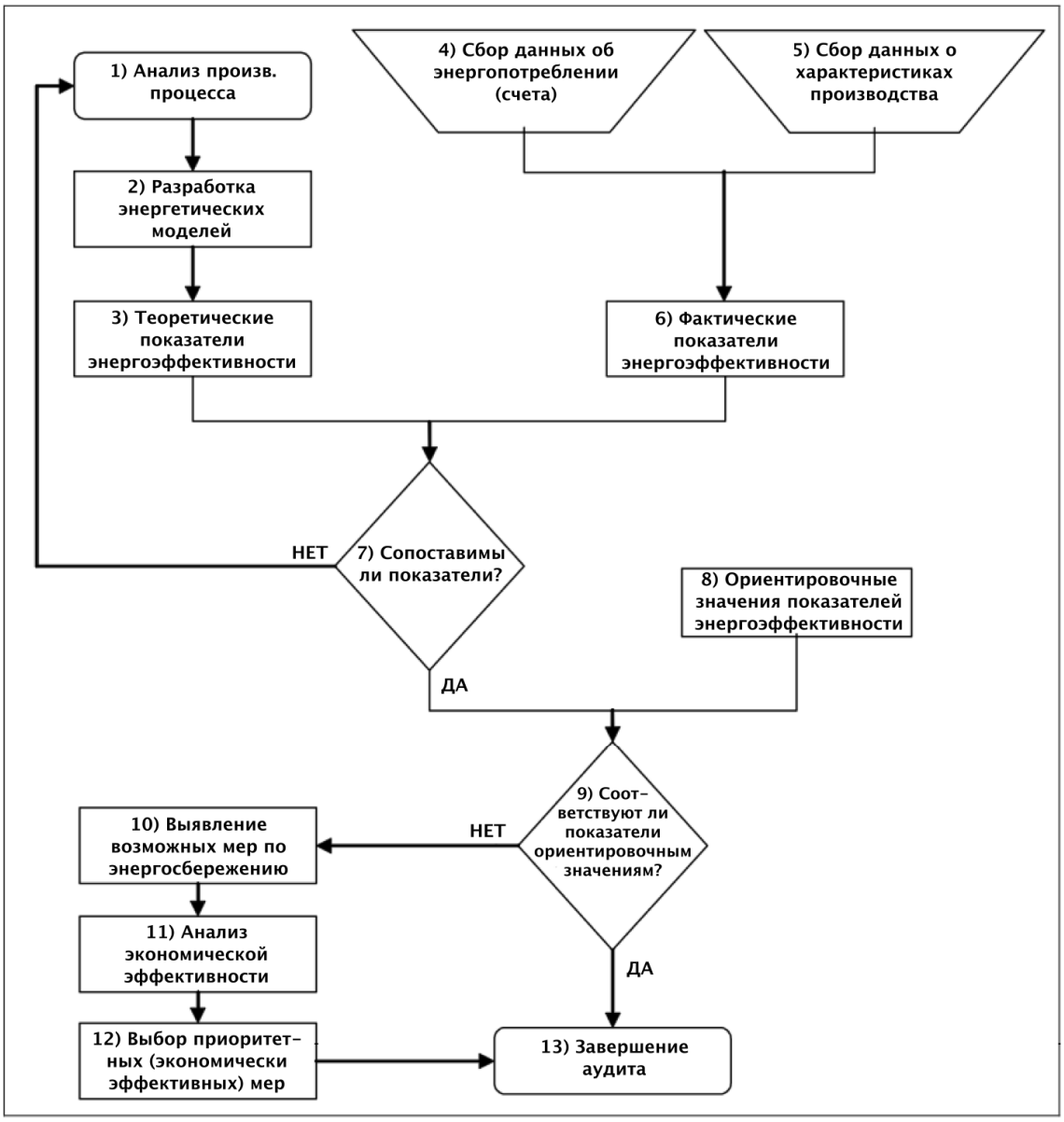


Рисунок 2.10: Схема полного энергоаудита

[11, Franco, 2005]

2.12. Пинч-анализ

Общая характеристика

Пинч-анализ – методология минимизации энергопотребления процесса посредством расчета термодинамически обоснованных объемов энергопотребления и приближения к ним с помощью оптимизации теплопередачи между процессами, методов энергоснабжения и характеристик технологических процессов. Хотя иногда этот метод называют *интеграцией процессов* или *энергетической интеграцией*, фактически, пинч-анализ является одним из средств такой интеграции (см., например, раздел 2.4).

В контексте пинч-анализа каждый оптимизируемый процесс рассматривается как совокупность горячих и холодных потоков. Горячими называются потоки, которые нуждаются в охлаждении, а холодными – потоки, нуждающиеся в нагреве. Для каждого процесса может быть построена одна кривая на диаграмме «энтальпия-температура», представляющая совокупность всех горячих потоков, и одна кривая, представляющая совокупность всех холодных потоков процесса. Эти кривые называются соответственно горячей и холодной составными кривыми. Построение кривой продемонстрировано на рис. 2.11 и 2.12. На первом из них показаны два горячих потока на диаграмме «энтальпия-температура».

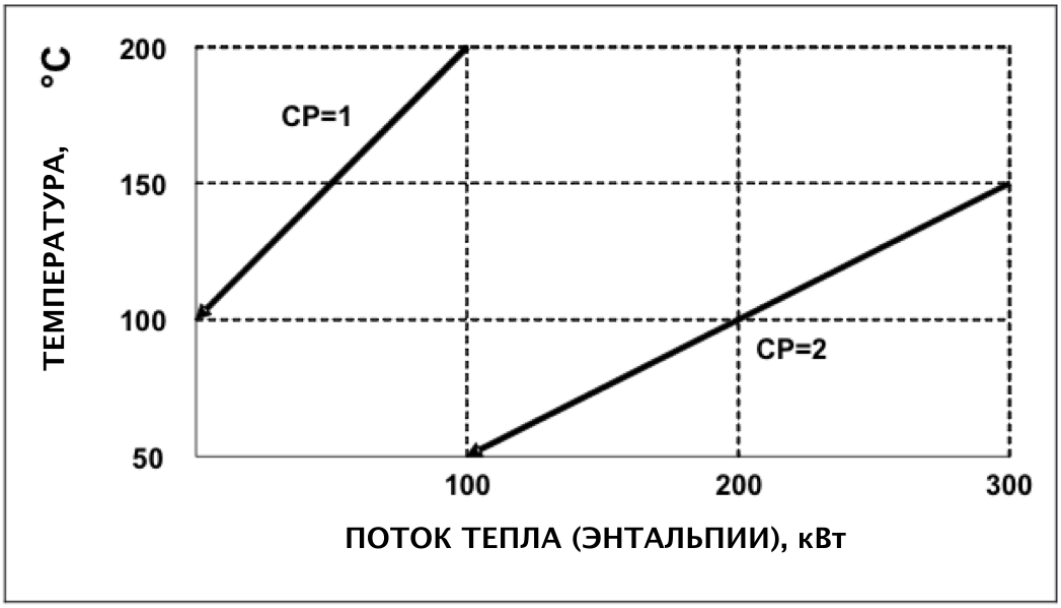


Рисунок 2.11: Два горячих потока

Поток 1 охлаждается с 200 до 100 °C. Его потоковая теплоемкость CP (произведение массового расхода на удельную теплоемкость вещества) равна 1; поэтому от потока отводится 100 кВт тепла. Поток 2 охлаждается со 150 до 50 °C. CP этого потока равна 2; следовательно, от потока отводится 200 кВт тепла.

Горячая составная кривая строится посредством простого сложения потребностей в отведении тепла для каждого диапазона температур:

- в диапазоне от 200 до 150°C существует только один поток, имеющий CP = 1. Следовательно, в этом диапазоне температур необходимо отведение 50 кВт тепла;
- в диапазоне от 150 до 100°C существует два горячих потока с суммарным CP = 3. Общая потребность в отведении тепла в данном диапазоне составляет 150 кВт. Составная кривая на участке температур 150-100 C является более пологой, поскольку суммарная величина CP в этом диапазоне больше, чем в диапазоне 200-150°C;
- в диапазоне от 100 до 50°C существует только один поток, имеющий CP = 2. Следовательно, в этом диапазоне температур необходимо отведение 100 кВт тепла.

Горячая составная кривая показана на рис. 2.12.

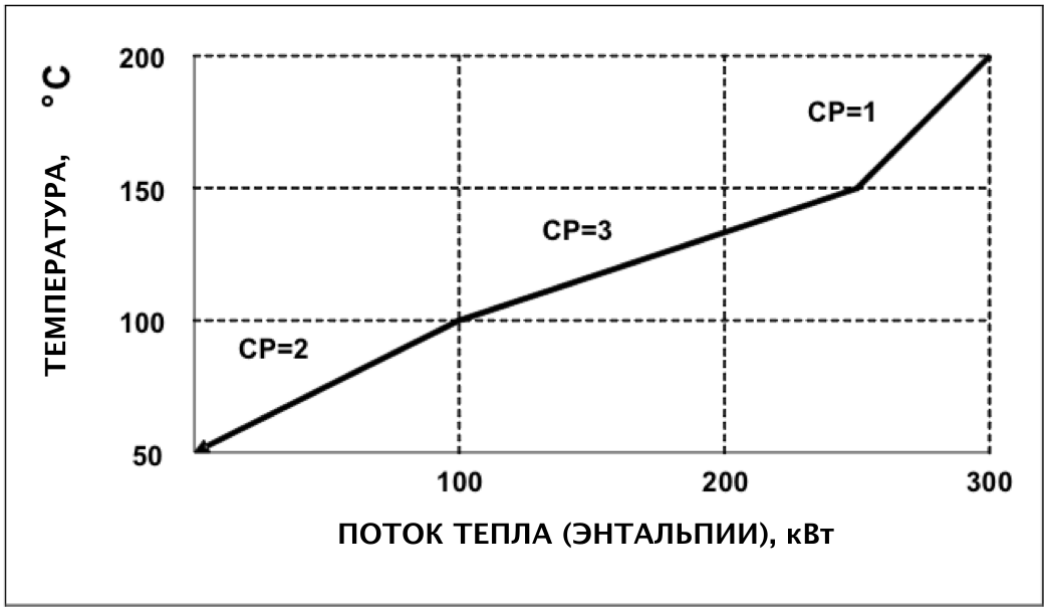


Рисунок 2.12. Горячая составная кривая

Холодная составная кривая строится аналогичным образом. На практике количество потоков в составе процесса, как правило, оказывается гораздо больше, но составные потоки строятся точно так же, как было показано в этом упрощенном примере.

На рис. 2.13 горячая и холодная составные кривые построены на одной и той же диаграмме «температура – энтальпия». Эти кривые представляют совокупные потребности процесса в охлаждении и нагреве.

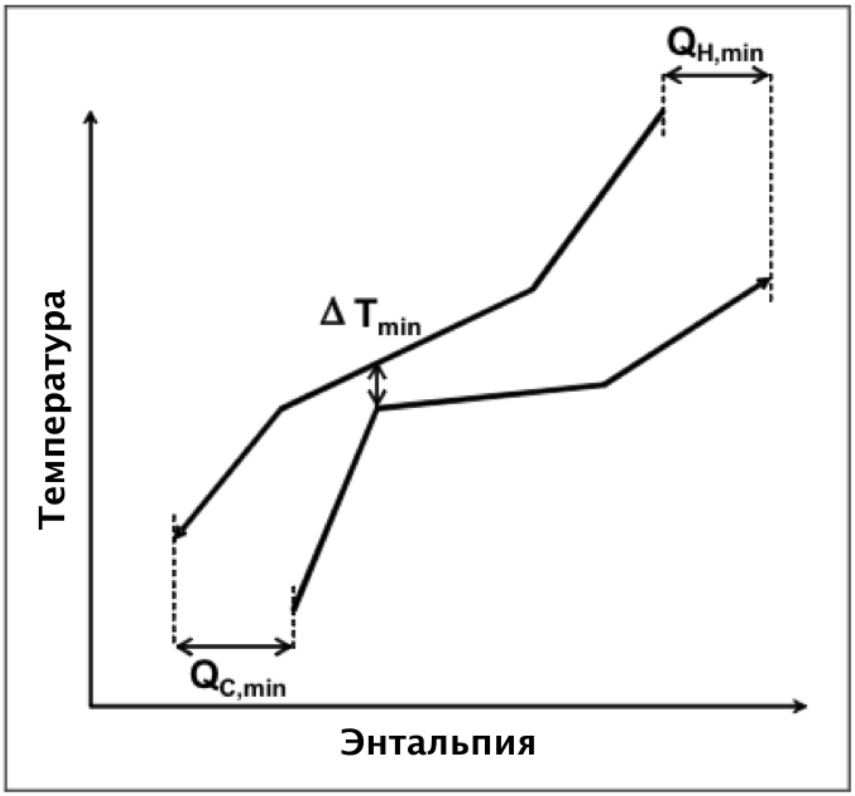


Рисунок 2.13: Составные кривые, пинч, и теоретические потребности в «холодных» и «горячих» энергоресурсах

Проекции кривых на ось энтальпии перекрываются. Это означает, что тепло, отводимое от горячей составной кривой (совокупности горячих потоков), может быть использовано для нагрева холодной составной кривой (совокупности холодных потоков) посредством организации передачи тепла между потоками. Однако у каждой из составных кривых существует участок, проекция которого на ось энтальпии не перекрывается проекцией второй кривой. Это означает, что в своей верхней части холодная составная кривая нуждается во внешнем источнике тепла (мощностью $Q_{H,min}$), а горячая составная кривая в своей нижней части нуждается во внешнем источнике охлаждения (мощностью $Q_{C,min}$). Эти величины представляют собой теоретические потребности в горячих и холодных энергоресурсах.

Точка, в которой расстояние между кривыми по оси температуры минимально, называется «пинч»[27]. В точке пинча разность температур между кривыми достигает минимума – ΔT_{min}. При этом область перекрытия проекций двух кривых на ось энтальпии представляет возможности для передачи тепла между процессами (рекуперации тепла), а величины $Q_{H,min}$ и $Q_{C,min}$ являются минимальными теоретическими потребностями в энергоресурсах.

После того, как для процесса определены пинч и теоретические потребности в энергоресурсах, для оптимизации процесса могут быть использованы три «золотых правила» пинч-анализа. Процесс может быть рассмотрен как две отдельные системы, находящиеся соответственно выше пинча и ниже пинча (см. рис. 2.14). Система, находящаяся выше пинча, требует подведения тепла из внешнего источника и, следовательно, является стоком тепла. Система, находящаяся ниже пинча, требует отведения тепла за свои границы и поэтому является источником тепла.

[27] Pinch (*англ.*) – сужение, сжатие. (Прим. пер.)

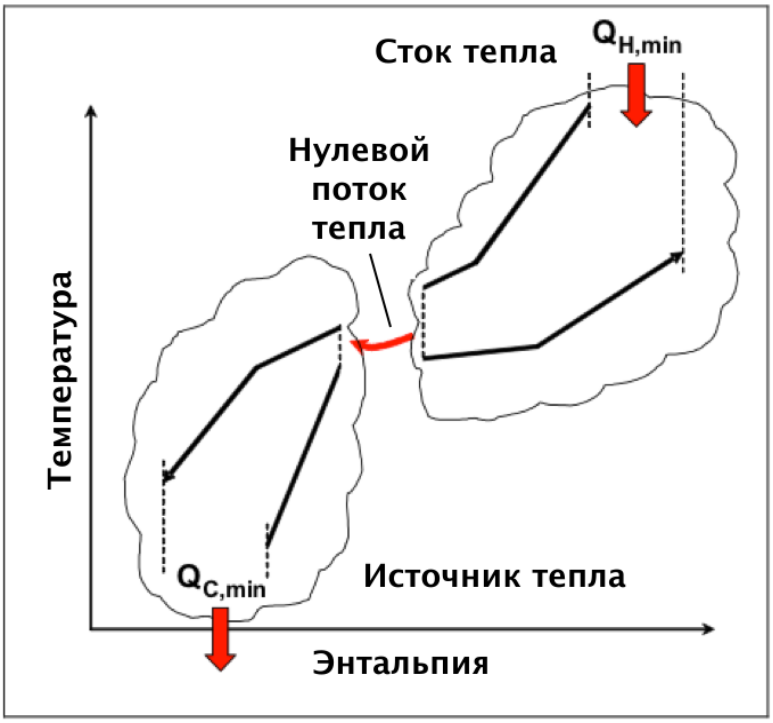


Рисунок 2.14: Схематическое представление систем, находящихся выше и ниже пинча.

Три основных правила состоят в следующем:

- не должно быть передачи тепла через пинч;
- не должно быть внешнего охлаждения системы, находящейся выше пинча;
- не должно быть подведения тепла из внешних источников к системе, находящейся ниже пинча.

Если через пинч передается количество тепла α, это означает, что это же количество тепла (α) должно быть дополнительно подведено к «верхней» системе и дополнительно отведено от «нижней» (см. рис. 2.15). Аналогичным образом, любое внешнее охлаждение системы-стока и любое подведение тепла извне к системе-источнику означают дополнительные потребности в энергоресурсах по сравнению с минимальными теоретическими значениями.

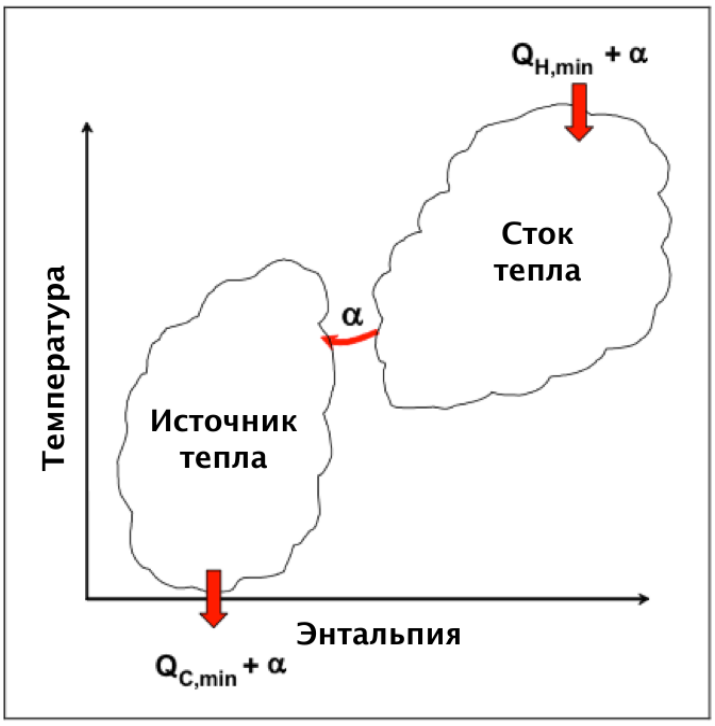


Рисунок 2.15: Передача тепла через пинч от стока к источнику

Таким образом:

$$T = A - \alpha \qquad \textbf{Уравнение 2.1}$$

где:

T – теоретическое минимальное энергопотребление;

A – фактическое энергопотребление;

α – поток энергии через пинч.

Для достижения минимума энергопотребления необходимо исключить поток тепла через пинч.

Экологические преимущества

Оптимизация энергетического баланса производственного предприятия.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как предполагается, отсутствует.

Производственная информация

Важнейшим условием эффективного использования пинч-анализа является наличие фактических данных, в особенности, в том случае, если технологический процесс не является непрерывным. Такие данные не могут быть заменены никакими оценками или предположениями; для достижения энергосбережения (и соответствующего снижения затрат) необходимо детальное измерение характеристик (в т.ч. временных) всех технологических потоков в составе процесса.

Применимость

Пинч-анализ может применяться на предприятиях широкого круга отраслей, где используются технологические потоки, имеющие различные температуры. Этот метод используется при проектировании новых предприятий или производственных единиц, модернизации производственных мощностей, а также таких исследованиях деятельности предприятия, как:

- энергетический анализ производственных единиц;
- анализ систем энергоресурсов, включая тепловые и электроэнергетические системы;
- проектирование и анализ теплообменных систем;
- комплексный анализ производств с целью оптимизации процессов и интеграции использования различных энергоресурсов;
- анализ водородных и водных систем.

Первоначально пинч-анализ применялся в нефтехимии, нефтепереработке и на крупных предприятиях химической промышленности, где результатом его использования было энергосбережение и сокращение капитальных затрат. Однако в последнее время эта методология успешно применяется к различным технологическим процессам широкого круга отраслей. В частности, пинч-анализ используется в когенерации, фармацевтической, целлюлозно-бумажной и цементной промышленности, а также различных подотраслях пищевой промышленности (например, пивоварении, производстве кофе, мороженого и молочных продуктов). См. «Примеры» ниже.

Пинч-анализ успешно применяется к технологическим процессам различных типов, включая периодические, полунепрерывные и непрерывные процессы, и способен учитывать различные характеристики этих процессов, включая использование различных видов сырья и энергоресурсов, сезонные колебания спроса, а также ограничения, связанные с качеством продукции, и ограничения природоохранного характера.

Экономические аспекты

См. сроки окупаемости инвестиций, приведенные в табл. 2.6.

Пинч-анализ имеет репутацию дорогостоящей и сложной в применении методологии. Однако в случае несложных процессов расчеты могут выполняться вручную или при помощи программных

инструментов (в т.ч. распространяемых бесплатно). Уровень, с которого начинается стоимость проектов по пинч-анализу, составляет около 5 тыс. евро. Несложный анализ может выполняться даже на основе незначительного количества данных. В настоящее время пинч-анализ включен во многие программы обучения промышленных инженеров.

В более сложных ситуациях может потребоваться группа опытных специалистов, хорошо знакомых с пинч-анализом, особенностями конкретного производства, а также методиками моделирования процессов и оценки затрат.

Мотивы внедрения

Сокращение эксплуатационных и капитальных затрат.

При применении пинч-анализа к существующей деятельности предприятия во многих случаях удалось добиться улучшения характеристик производственного процесса, что позволило, например, повысить гибкость производства, «расшить» узкие места в технологических процессах, увеличить производительность и снизить масштаб негативных эффектов (например, образования накипи).

Примеры

Примеры экономического эффекта, полученного в результате применения пинч-анализа[1] (в долларах США[2], источник: Ullman's, 2000)	
Предприятие/процесс	**Экономический эффект**
Переработка сырой нефти	1,75 млн. долл., срок окупаемости – 1,6 г.
Крупный нефтехимический комплекс (производство этилена, бутадиена, полиэтилена высокой и низкой плотности, полипропилена)	Более 7 млн. долл., срок окупаемости 12 –20 мес.
Производство химических веществ по заказу, периодический процесс, 30 реакторов, более 300 видов продукции	Около 450 тыс. долл., сроки окупаемости от 3 мес. до 3 лет
Производство специализированных соединений серы, периодический и непрерывный процесс	Снижение общих затрат на приобретение энергии на 30 % (экв. примерно 180 тыс. долл., сроки окупаемости 9-16 мес.)
Рафинирование пищевого масла, периодический процесс, различные виды сырья	Снижение общего энергопотребления технологических процессов на 70% (экв. примерно 790 тыс. долл. со сроками окупаемости 12-18 мес.), «расшивка узких мест», эквивалентная увеличению производительности на 15%
Молочные продукты и сухие напитки, периодический процесс	Сокращение энергопотребления на 30% (экв. примерно 200 тыс. долл.), срок окупаемости менее года
Пивоваренное производство	Сокращение затрат на энергию на 12-25%, сроки окупаемости от 9 мес. до 2 лет
Современное предприятие по производству виски	Значительная «расшивка узких мест», экономический эффект 350 тыс. долл., сроки окупаемости от 18 мес. до 2 лет
Бумажное производство	Снижение затрат на энергию на 8-20%, сроки окупаемости 1-3 года
Непрерывное производство ацетилцеллюлозы	280 тыс. долл., срок окупаемости 1 год
Непрерывное производство цемента	Значительные объемы энергосбережения
Примечания: 1. Экономический эффект, приводимый в данной таблице, связан главным образом, с сокращением затрат на энергию. Большинство компаний получили и другие выгоды, связанные, например, с повышением производительности и увеличением гибкости производственного процесса; соответствующий экономический эффект не отражен в таблице. 2. Обменный курс не приводится, поскольку неизвестны точные даты, к которым относятся приводимые данные.	

Таблица 2.6: Пинч-анализ: некоторые примеры применения и полученного экономического эффекта

[266, Ullmann's, 2000]

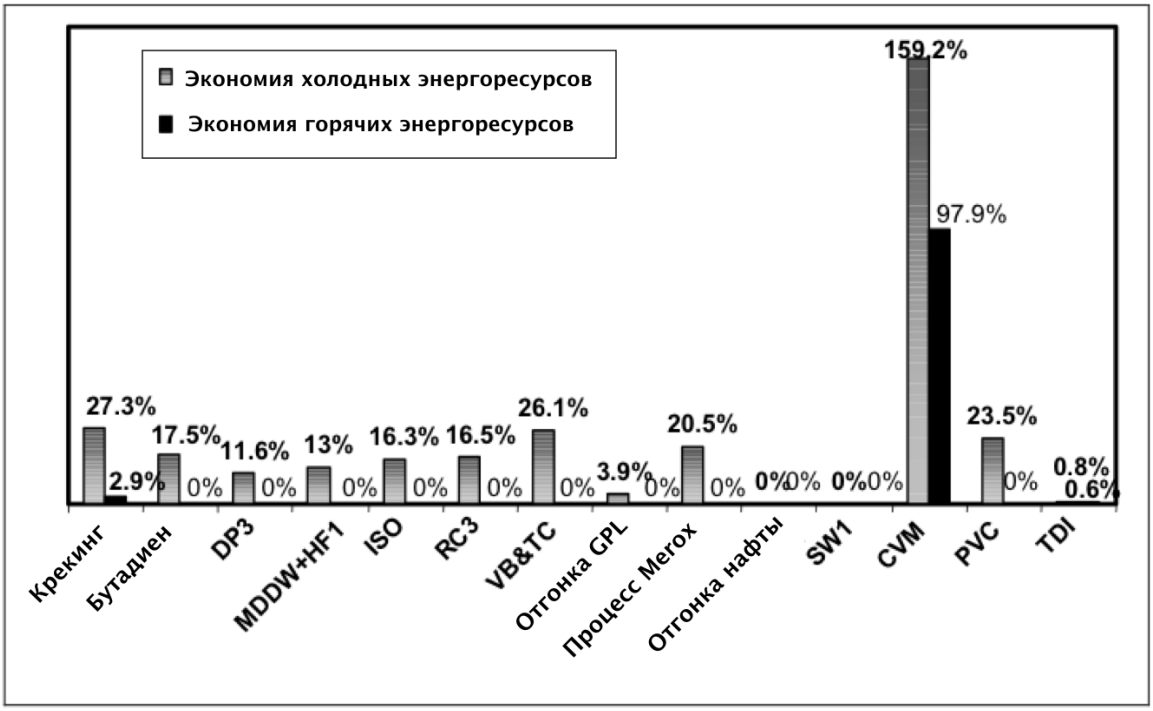


Рисунок 2.16: Потенциал энергосбережения, выявленный в результате пинч-анализа

Примечание: сокращения означают различные полимеры и стадии органического синтеза

[51, Pini, 2005]

Справочная информация

[117, Linnhoff March], [118, KBC], [12, Pini, 2005, 51, Pini, 2005, 67, Marttila, 2005, 119, Neste Jacobs Oy]

Бесплатное программное обеспечение для пинч-анализа: Pinch2.0 (Fraunhofer ISI/Peter Radgen).

Пинч-анализ рассматривается и в других Справочных документах: по тонкому органическому синтезу, производству специальных неорганических соединений, крупнотоннажному производству неорганических твердых веществ, переработке нефти и газа и т.д.

2.13. Энтальпийный и эксергетический анализ

Общая характеристика

Энергетический (энтальпийный) и эксергетический анализ представляют собой методики, основанные на определении энергии или эксергии потоков в исследуемой тепловой системе, а также построении энергетического или эксергетического баланса объектов, соединяемых этими потоками.

Выполнение этих видов анализа включает следующие шаги:

1. Следует точно определить границу анализируемой системы (всего предприятия или его части).
2. Необходимо выполнить декомпозицию системы на компоненты, соединяемые материальными и энергетическими потоками. Степень декомпозиции определяется необходимой степенью детальности анализа, а также доступной информацией.
3. Следует определить термодинамические характеристики потоков: массовый расход, давление, температуру, состав, мощность на валу, поток тепла и т.д. При анализе существующей системы для получения этой информации проводятся измерения, а при проектировании нового объекта используется моделирование.
4. После того, как получены необходимые данные по всем потокам, можно определить их энтальпию и эксергию (см. раздел 1.2.2 и приложение 7.1).

5. На основе потоков энтальпии и эксергии можно определить другие характеристики, например, потери энергии в различных компонентах, степень необратимости процессов, КПД; кроме того, потоки могут быть графически представлены на диаграммах Сэнки (энергия) или Грассмана (эксергия).
6. Соответствующий анализ и построение балансов могут выполняться в реальном времени с заданной периодичностью, а информация о «затратах эксергии» может использоваться для выявления отклонений производственного процесса от заданных условий.
7. Наконец, можно установить взаимосвязь между термодинамическими и экономическими характеристиками производства, поскольку любые затраты, вызванные неэффективностью или неадекватным функционированием какой-либо технологической подсистемы, имеют две стороны: количество затраченных ресурсов и финансовые средства, необходимые для компенсации этих затрат. Соответствующий подход применительно к энергетическим ресурсам называется «термоэкономика» (см. раздел 2.14).

Как видно из этого краткого описания, энергетический и эксергетический анализ могут выполняться параллельно, для одних и тех же производственных единиц, и на основе одних и тех же данных. Однако эксергетический анализ, несмотря на то, что он более сложен и реже применяется, является более полезным, поскольку он позволяет выявить больше возможностей для энергосбережения.

Энергия является консервативной величиной, которая не может создаваться или уничтожаться. Поэтому энергетический анализ может выявить лишь потери энергии через границы системы (потери тепла, энергия отходящих газов и т.д.). Однако при всяком преобразовании энергии ее качество (способность быть превращенной в полезную работу) снижается, хотя количество энергии остается неизменным. Эксергия является мерой, учитывающей качество энергии. Электрическая или механическая энергия являются формами энергии высокого качества, и их вклад в эксергию системы равен полному количеству энергии в этих формах. С другой стороны, эксергия массы воды, температура которой превышает температуру окружающего воздуха на 20ºС, составляет незначительную часть общей тепловой энергии этой воды. Содержание эксергии (выражаемое тех же единицах, что и количество энергии) характеризует максимальную способность энергии данного потока к преобразованию в другие формы энергии или полезную работу. Вследствие этого эксергия не является консервативной величиной. Общая эксергия входных потоков любого установившегося процесса всегда превышает общую эксергию выходных потоков. Эта разница является мерой термодинамической необратимости процессов, а ее количественное определение в процессе эксергетического анализа позволяет установить, где теряется качество энергии (и, как следствие, где существуют возможности для энергосбережения). (Эти вопросы обсуждаются более подробно в приложении 7.1).

В качестве примера рассмотрим котел, производящий пар низкого давления для определенного технологического процесса. По результатам энергетического анализа может оказаться, что энергетический КПД котла достигает 85 %, и, следовательно, котел является весьма эффективным устройством. Однако поскольку энергия, содержащаяся в паре низкого давления, характеризуется низким качеством, может выясниться, что эксергетический КПД котла не превышает 25%. Эта величина указывает на значительный потенциал энергосбережения, который может быть реализован в результате замены котла теплоутилизационным парогенератором системы когенерации. В такой системе часть энергии горячих газов, образующихся при сжигании топлива, расходуется на приведение в движение турбины, производящей высококачественную энергию. Парадоксальным образом, чем ниже качество энергии, производимой устройством, тем больший энергетический КПД может быть достигнут при эксплуатации такого устройства. При этом величина эксергетического КПД, учитывающего качество производимой энергии, соответствует здравому смыслу.

Экологические преимущества

Данные типы анализа позволяют выявить участки технологического процесса, характеризующиеся наибольшими потерями энергии и эксергии, и обладающие наибольшим потенциалом энергосбережения. Поскольку эксергия потока определяется целым рядом его характеристик, эксергетический анализ может использоваться и для выявления участков, на

которых образуется загрязнение окружающей среды, а также количественной оценки этого загрязнения.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как предполагается, отсутствует.

Производственная информация

Важнейшим условием применения данных методик является наличие информации о материальных и энергетических потоках в системе. Для действующих предприятий такая информация может быть получена посредством измерений, а для проектируемых – при помощи моделирования. Недостаток фактической информации может ограничивать степень детальности анализа.

Применимость

Понятие эксергии используется в различных ситуациях для выявления непроизводительного использования природных ресурсов (см. «Справочная информация» ниже).

Данные методики могут применяться для анализа любых тепловых систем. Их важным преимуществом является то, что они допускают непосредственное сравнение различных предприятий. Более того, в эксергетическом анализе имеется абсолютная точка отсчета: идеальная система, в которой отсутствуют потери эксергии.

Описанные подходы могут использоваться для анализа характеристик действующего производства на основе данных измерений и сопоставления этих характеристик с проектными значениями. Кроме того, на этапе проектирования эти методики могут использоваться для оценки альтернатив и возможных усовершенствований предлагаемого процесса.

Тем не менее, к настоящему времени концепция эксергии получили лишь ограниченное применение в практике бизнеса. Например, в Нидерландах эта концепция используется инженерными подразделениями таких крупных компаний, как Shell, Dow Chemical, Unilever, DSM, AKZO NOBEL и т.д., а также некоторыми крупными инженерными компаниями. Было проведено несколько исследований, посвященных применению эксергетического анализа в практике компаний. По данным этих исследований, эксергетический анализ позволяет компаниям получить ценную информацию, но требует много времени; кроме того, существует немного доступных данных, с которыми можно было бы сравнивать полученные результаты. Например, недостаток данных затрудняет сравнительный анализ эксергетических КПД. Существует специализированное коммерческое ПО для расчета эксергии, использующее данные о технологических потоках из программного пакета для описания схем технологических процессов и позволяющее значительно ускорить соответствующий анализ. Однако стоимость указанного пакета высока, и его приобретение может быть оправданным лишь для немногих компаний.

Большинство малых и средних компаний не используют подобное ПО в силу его высокой стоимости, недостатка обладающего соответствующей квалификацией персонала, а также степени точности исходных данных, необходимой для работы таких программ. С учетом потребностей малого и среднего бизнеса был разработан альтернативный подход к эксергетическому анализу, который в настоящее время продолжает развиваться.

Экономические аспекты

Эксергетический анализ имеет репутацию дорогостоящей и сложной в применении методологии. Однако при наличии необходимой информации о характеристиках технологических потоков (что имеет место во многих случаях), энергетический и эксергетический анализ могут быть выполнены с незначительными затратами. Существует несколько программных инструментов для этих типов анализа, интегрированных с пакетами для работы со схемами технологических процессов. С помощью этих пакетов анализ может быть выполнен быстро и эффективно. Потери эксергии указывают на участки процесса, обладающие наибольшим потенциалом экономии (материалов, энергии и, как следствие, финансов). Затраты на проведение эксергетического анализа начинаются с уровня 5 тыс. евро.

Для небольших проектов анализ может выполняться вручную, однако практическая полезность такого анализа ограничена. В настоящее время разрабатывается новая методология – т.н. эксергетическое сканирование, адаптированная к потребностям малого и среднего бизнеса.

Мотивы внедрения

Данные инструменты представляют собой малозатратные методологии, позволяющие извлечь значительную пользу из деятельности предприятия по мониторингу технологических процессов. Они также позволяют определенно выявить участки процесса, где имеется потенциал энергосбережения. Информация, полученная при помощи этих методов, может быть использована в качестве исходного материала для других инструментов анализа и представления данных, например, диаграмм Сэнки (см. раздел 2.7.1).

Примеры

Энергетический анализ (анализ энтальпии) широко применяется как при проектировании новых тепловых систем, так и при анализе и совершенствовании существующих. Эксергетический анализ пока не получил столь широкого распространения, хотя в последнее время его применение расширяется. Как уже было отмечено, его используют такие компании, как Shell, Dow Chemical, Unilever, DSM, AKZO NOBEL, а также крупные инженерные компании.

Справочная информация

[227, TWG]

Информация и примеры по энергетическому и эксергетическому анализу могут быть найдены практически в любом учебнике по термодинамике, рассчитанном на студентов старших куров. Дополнительные сведения об эксергетическом анализе приведены, например, в следующих публикациях:

- T. J. KOTAS. Krieger, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Florida, 1996
- Kotas, T.J., The Exergy Method of thermal and chemical processes, Krieger Publishing Company, Melbourne, USA, 1999
- Szargut J., Morris D.R., Steward F.R., Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere, New York, 1988
- Cornelissen, R.L., 1997, Thermodynamics and sustainable development, The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility, Ph.D. thesis, University of Twente, http://www.ub.utwente.nl/webdocs/wb/1/t0000003.pdf
- Cornelissen, R.L., and Boerema C. 2001, Exergy Scan the new method for cost effective fuel saving, Proceedings of ECOS 2001, p.p. 725-731, Istanbul.

Инструменты:

- калькулятор эксергии: http://www.exergoecology.com/excalc
- инструмент exerCom и «эксергетическое сканирование» (exergy scan): информация по обоим подходам доступна на сайте www.exergie.nl

2.14. Термоэкономика

Общая характеристика

Методы термоэкономического анализа, применяемые на уровне системы, используют как принципы термодинамики, так и данные о затратах. Эти методы позволяют прояснить процесс формирования затрат, минимизировать совокупные производственные затраты, а также распределить затраты по нескольким видам продукции, производимым в одном и том же процессе.

Как было отмечено в разделе 1.2, в ходе производственного процесса энергия не потребляется в строгом смысле, а переходит из более качественных форм в менее качественные. Для анализа процессов, характеризующихся значительной степенью термодинамической необратимости, например, сжигания, теплопередачи, дросселирования и т.д., адекватным является только

эксергетический анализ (см. раздел 2.13). Эксергия представляет собой объективную и универсальную меру полезности энергии и может рассматриваться в качестве связующего звена между термодинамикой и учетом затрат. Это связано с тем, что эксергия может быть рассчитана на основе физических величин, которые могут быть измерены – давления, температуры, энергии и т.д. Экономический анализ позволяет рассчитать затраты, связанные с приобретением топлива, инвестициями, а также эксплуатацией и техническим обслуживанием установки.

Таким образом, термоэкономика позволяет оценить затраты, связанные с потреблением ресурсов и термодинамической необратимостью в рамках производственного процесса в целом. Термоэкономический анализ позволяет выявить пути более эффективного использования и сбережения ресурсов. Денежные затраты являются, в частности, выражением неэффективности технологических процессов, и информация о формировании затрат может использоваться для оптимизации этих процессов. Анализ затрат, связанных с технологическими потоками и процессами предприятия, способствует пониманию процесса формирования затрат на пути от входных потоков до конечной продукции.

Экологические преимущества

Прежде всего, энергосбережение, но также и сокращение расхода материалов, потерь и объемов образования отходов.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Поскольку речь идет о расчетной методике, таковых не ожидается.

Производственная информация

Данные методы анализа позволяют решить проблемы, связанные со сложными энергетическими системами, которые не могут быть решены методами традиционного энергетического анализа. Среди прочего, методы термоэкономики могут использоваться для:

- рационального ценообразования на продукцию предприятия на основе физических параметров;
- оптимизации конкретных параметров производственных процессов с целью снижения совокупных производственных затрат, т.е. глобальной и локальной оптимизации;
- выявления неэффективных участков процесса и расчета их влияния на экономику производства действующих предприятий (термоэкономической диагностики производственного процесса);
- оценки различных альтернатив и вариантов решений при проектировании производства, обеспечения максимальной рентабельности;
- энергоаудита.

Применимость

Данные отсутствуют.

Экономические аспекты

Зависит от конкретной ситуации.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат и ресурсосбережение.

Примеры

Различные электростанции (в т.ч. парогазовые комбинированного цикла), нефтеперерабатывающие и химические предприятия, сахарные заводы, электростанции-опреснители, ТЭЦ и т.д.

Справочная информация

[258, Tsatsaronis and Valero, 1989] [284, Valero, 285, Valero, 1989]

Дополнительная информация доступна на таких сайтах, как: [286, Frangopoulos]

2.15. Энергетические модели

2.15.1. Энергетические модели, базы данных и балансы

Общая характеристика

Энергетические модели, базы данных и балансы представляют собой полезные инструменты для комплексного и детального энергетического анализа, которые часто используются в рамках аналитических энергоаудитов, в т.ч. комплексных (см. раздел 2.11). Модель представляет собой схему или описание, отражающее использование энергии в рамках установки, подразделения или системы (это описание может храниться, например, в базе данных). Модель содержит техническую информацию об установке, подразделении и системе – тип оборудования, его энергопотребление и такие эксплуатационные данные, как, например, время работы. Полнота и степень детальности модели должны быть достаточными с точки зрения задач, возлагаемых на модель, но не чрезмерными. Модель должна быть легко доступна для сотрудников различных подразделений организации, включая ответственные за эксплуатацию, менеджмент энергоэффективности, техническое обслуживание, закупки, учет и т.д. Продуктивной является схема, при которой модель является частью системы поддержки технического обслуживания или связана с ней, что позволяет своевременно обновлять данные модели, например, внося в нее информацию о перемотке двигателей, датах калибровки оборудования и т.д. (см. раздел 2.9).

Любая энергетическая модель, база данных или баланс должны формироваться на основе установленных границ систем и подсистем (см. раздел 1.5.1), например, следующим образом:

- производственные единицы (подразделения, производственные линии и т.д.)
    - системы
        - единицы оборудования (насосы, двигатели и т.д.)
- вспомогательные системы (например, обеспечение сжатым воздухом, вакуум, внешнее освещение и т.д.)
    - единицы оборудования (насосы, двигатели и т.д.).

Аудитор (или другое лицо, ответственное за сбор данных) должен обеспечить внесение в базу данных информации о фактической энергоэффективности систем (см. раздел 1.5.1).

Поскольку энергетическая модель или база данных является стратегическим инструментом энергоаудита, разумно перед практическим использованием модели выполнить ее проверку. Первым шагом является сравнение общего энергопотребления согласно модели с фактическими данными учета. В случае сложной установки такие сравнения могут быть выполнены на уровне отдельных производственных единиц или систем (см. сведения о границах систем в разделе 1.5.1 и системах учета в разделе 2.10.3). Если расчетное и фактическое энергопотребление не совпадают, необходимо перепроверить используемые в модели данные, прежде всего, основанные на оценках и предположениях, например, коэффициент загрузки оборудования или время его работы. При необходимости следует уточнить эти данные. Еще одной причиной неточности модели может быть то, что в ней не отражено все энергопотребляющее оборудование.

Экологические преимущества

Наличие подробной информации об энергопотреблении обеспечивает более высокое качество планирования.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как предполагается, отсутствует.

Производственная информация

Электроэнергия

При отражении электрического оборудования в модели, базе данных или балансе для каждой единицы оборудования, включая двигатели и приводы, насосы, компрессоры, электропечи и т.д., должна быть внесена следующая информация:

- номинальная мощность;
- номинальный КПД;
- коэффициент загрузки;
- время эксплуатации (часов в год).

Если информация о номинальных мощности и КПД, как правило, легко доступна (указана на корпусе устройства или в документации), коэффициент загрузки и время эксплуатации должны быть оценены.

Примеры данных по электрическому оборудованию, собранных для простой модели, приведены в приложении 7.7.3.

Если, согласно предварительной оценке, коэффициент загрузки превышает 50%, он может быть оценен при помощи следующей формулы:

$$LF = \frac{P_{(эфф)} \cdot \eta}{P_{(ном)}}$$

где:

LF – коэффициент загрузки;

$P_{(эфф)}$ – средняя электрическая мощность, потребляемая устройством во время работы (кВт);

$P_{(ном)}$ – номинальная мощность устройства (кВт);

η – номинальный КПД устройства (при полной загрузке).

При необходимости величина $P_{(эфф)}$ может быть измерена при помощи электрических счетчиков.

Следует отметить, что КПД и коэффициент мощности устройства зависят от коэффициента загрузки. На рис. 2.17 представлен пример такой зависимости для типичного двигателя.

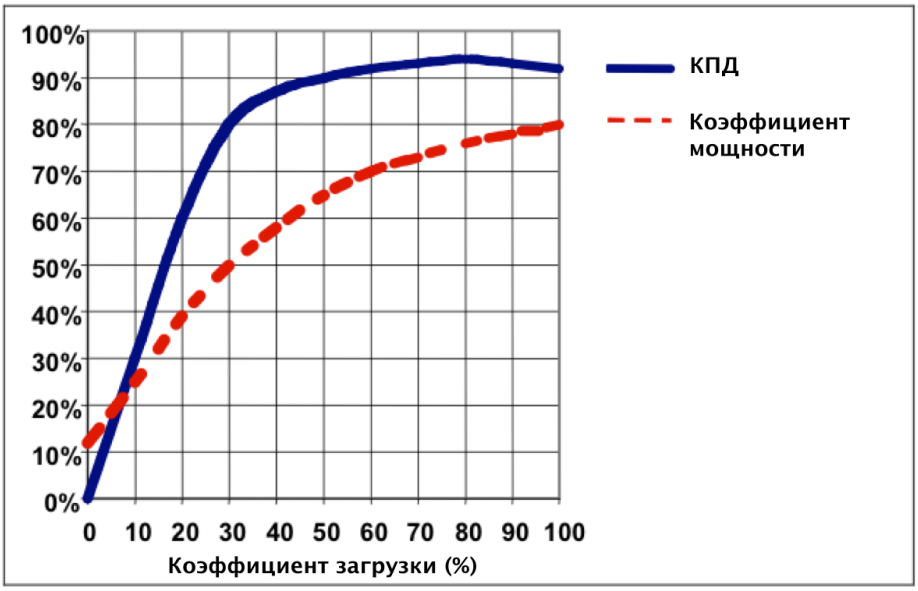


Рисунок 2.17: Зависимость коэффициента мощности устройства от коэффициента загрузки

[11, Franco, 2005]

Тепловая энергия

Составление энергетической модели, базы данных или баланса для тепловых устройств или систем является более сложным, чем в случае электрических устройств. Как правило, для получения полной картины производства и потребления тепловой энергии составляются модели (базы данных, балансы) двух разных уровней.

Для составления модели первого уровня необходимо учесть все устройства, потребляющие любые виды топлива. Для каждого такого устройства (например, котла или печи) необходимо собрать следующие данные:

- тип и количество топлива, потребляемого за определенный период времени (как правило, за год);
- теплоноситель, поступающий в котел (например, вода под давлением): тип, массовый расход, температура, давление;
- конденсат: коэффициент регенерации, температура, давление;
- корпус котла: производитель, модель, год установки, тепловая мощность, номинальный КПД, площадь поверхности теплообмена, время эксплуатации (часов в году), температура корпуса, средний коэффициент загрузки;
- горелки: производитель, модель, год установки, тепловая мощность;
- отходящие газы: массовый расход, температура, среднее содержание CO_2;
- теплоноситель, покидающий котел (например, пар): температура, давление.

В модели первого уровня («сторона производства») отражаются только устройства, потребляющие топливо и производящие тепловую энергию (см. табл. 7.9). Как правило, для облегчения дальнейшего анализа целесообразно привести все данные по энергопотреблению к первичной энергии или форме энергии, традиционной для данной отрасли (см. раздел 1.3.6.1).

Модели второго уровня («сторона потребления») составляются посредством учета всех устройств, потребляющих тепловую энергию в любой форме, но не топливо (эти устройства были учтены в модели первого уровня). Для каждой единицы оборудования необходимо получить следующие данные:

- тип используемого теплоносителя;
- время потребления тепла (часов в год);
- коэффициент загрузки, при котором потребляется тепловая энергия;
- номинальная тепловая мощность.

Пример организации данных энергетической модели приведен в приложении 7.7.3, табл. 7.9.

Модели второго уровня («сторона потребления») могут быть полезны для проверки сбалансированности между производством тепловой энергии (в котлах, теплогенераторах и т.д.) и потребностями в ней.

Если разница между производством и потреблением, определенная на основе двух моделей, является приемлемой, обе модели могут считаться взаимно подтвержденными. Если эта разница неприемлемо велика, необходимы более точные расчеты или дальнейшие исследования.

Если, несмотря на тщательную проверку данных и уточнение расчетов, разница остается значительной, это указывает на наличие существенных потерь при передаче теплоносителей (пара, горячей воды и т.п.) от производителей к потребителям. В этом случае необходимы меры по повышению энергоэффективности.

Применимость

Характер модели и степень ее детальности зависят от особенностей конкретной установки.

Анализ каждой единицы энергопотребляющего оборудования часто является невозможным или неоправданным. Для небольших установок можно ограничиться составлением модели,

охватывающей потребление электроэнергии. В условиях крупных предприятий может оказаться целесообразным создание детальных моделей, охватывающих как электрическую, так и тепловую энергию, для подробного анализа производственного процесса.

При определении приоритетов для сбора данных можно ориентироваться на максимальную экономическую эффективность, начав, например, с единиц оборудования, энергопотребление которых превышает определенный уровень, или с 20% оборудования, на которые приходится 80% энергопотребления. По мере реализации потенциала энергосбережения в приоритетных областях можно постепенно добавлять к модели данные по прочему оборудованию, также ориентируясь на определенные приоритеты.

Экономические аспекты

Зависит от конкретного предприятия.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат.

Примеры

Примеры сводных данных по энергопотреблению и расчета балансов приведены в приложении 7.7.3.

Справочная информация

[127, TWG] [11, Franco, 2005]

2.15.2. Оптимизация использования энергоресурсов и управление ими на основе моделей

Общая характеристика

Подходы, предлагаемые в этом разделе, объединяют элементы методов, описанных в разделах 2.10.3–2.15, а также программного моделирования и/или систем управления технологическими процессами.

В условиях небольших предприятий и несложных производственных процессов доступность недорогих и простых средств мониторинга, измерения и управления позволяет организовать сбор данных, оценку потребностей производственного процесса в энергии, а также управление технологическими процессами. На начальном этапе мониторинг и управление могут сводиться к простому запуску и остановке процессов, контролю временных параметров, температуры и давления, фиксации данных и т.д. На последующих этапах возможна организация более сложного управления на основе программных моделей.

На крупных предприятиях могут быть реализованы еще более сложные подходы к автоматизации, подразумевающие измерение и контроль всех существенных параметров процесса, а также интеграцию АСУ ТП с другими информационными системам предприятия (системой выполнения заказов, системой управления производством и т.п.).

Одной из областей применения таких систем является управление производством или получением энергоресурсов («управление на стороне производства», «управление распределением» или «управление энергоресурсами»), см. «Применимость» ниже. Подобные системы представляют собой сочетание программных моделей и систем автоматизированного управления, используемых для управления энергоресурсами (электроэнергией, паром, холодом и т.д.) и оптимизации их использования.

Экологические преимущества

Сокращение энергопотребления и соответствующих загрязнений. См. «Примеры» ниже.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как правило, энергосбережение, достигнутое в рамках одной из подсистем, реализуется и на уровне системы в целом, однако если при оптимизации не учитывается сторона производства/распределения энергоресурсов, возможна и иная ситуация. Например, сокращение

потребления пара в одном из процессов может привести лишь к необходимости стравливания избыточного пара, если достигнутая оптимизация не учтена в системе производства и распределения пара.

Производственная информация

По мере возрастания сложности технологических процессов все большее значение для их оптимизации и повышения энергоэффективности могут иметь различные инструменты, находящиеся в диапазоне от простого моделирования на основе электронных таблиц и распределенных систем управления до более мощных систем управления энергоресурсами и оптимизации их использования (систем оптимизации энергоресурсов), основанных на моделях. Эти системы могут быть интегрированы с другими автоматизированными системами управления и информационными системами предприятия.

Система оптимизации энергоресурсов может использоваться сотрудниками различных подразделений, имеющими различный уровень подготовки (например, инженерами, операторами технологических процессов, менеджерами, снабженцами и представителями финансовых служб). К общим требованиям к подобной системе относятся:

- простота использования: система должна иметь варианты пользовательских интерфейсов, адаптированные к потребностям различных категорий пользователей, а также поддерживать интеграцию с другими корпоративными информационными системами и базами данных для того, чтобы избежать необходимости повторного ввода данных;
- надежность: система должна выдавать пользователям адекватные и обоснованные рекомендации;
- реалистичность: система должна адекватно отражать условия предприятия (затраты, характеристики оборудования, время запуска и т.п.), в то же время избегая чрезмерной детализации, которая осложнила бы использование системы;
- гибкость: система должна быть достаточно гибкой для того, чтобы отражение изменений в условиях производства (например, временное сокращение производства, изменение затрат и т.п.) не требовало значительных усилий.

Система оптимизации энергоресурсов должна быть способна надежно оценивать эффект различных действий по оптимизации энергоэффективности (как в реальном времени, так и, например, при анализе возможных сценариев), внося таким образом вклад в формирование мотивации для необходимых изменений (см. раздел 2.5).

К основным требованиям к системе оптимизации энергоресурсов, основанной на моделях, относятся:

- наличие модели, охватывающей процессы приобретения или производства топлива, пара и электричества, а также системы распределения этих энергоресурсов. Как минимум, модель должна адекватно отражать:
    - свойства всех видов используемого топлива, включая низшую теплоту сгорания и состав;
    - термодинамические характеристики всех технологических потоков воды и пара на предприятии;
    - эксплуатационные характеристики всего оборудования, имеющего отношение к энергоресурсам, в нормальных условиях эксплуатации;
- наличие модели всех контрактов на приобретение и продажу энергоресурсов;
- оптимизация методами частично-целочисленного программирования, позволяющая учитывать изменения режима эксплуатации оборудования, характера использования энергоресурсов, а также условий контрактов;
- проверка данных в реальном времени и оценка суммарной погрешности;
- возможность оптимизации по разомкнутому циклу;

- возможность оптимизации в реальном времени;
- возможность оценки эффекта различных сценариев (например, оценка результатов предлагаемых проектов или эффекта различных условий контрактов на поставку электроэнергии или топлива).

Применимость

Простые системы управления могут применяться даже в условиях небольших предприятий. Сложность систем растет по мере увеличения сложности предприятия и технологических процессов.

Методы оптимизации использования энергоресурсов актуальны, прежде всего, для тех предприятий, которые применяют несколько видов энергоресурсов (пар, холод и т.п.) и могут рассматривать различные способы их получения, включая, например, приобретение у различных поставщиков и/или собственное производство энергоресурсов (в т.ч. когенерацию или тригенерацию, см. раздел 3.4).

К числу важнейших требований к основанной на моделях системе оптимизации энергоресурсов относится наличие модели, охватывающей процессы приобретения или производства топлива, пара и электричества, а также системы распределения этих энергоресурсов. Как минимум, модель должна адекватно отражать свойства всех видов используемого топлива, включая низшую теплоту сгорания и состав. Это может оказаться невозможным при использовании топлива со сложным и непостоянным составом, например, бытовых отходов. Результатом может быть сужение диапазона возможностей для оптимизации производства энергии.

Экономические аспекты

См. «Примеры».

Мотивы внедрения

Основным мотивом внедрения является сокращение затрат. Точная оценка экономического эффекта в результате снижения энергопотребления может быть затруднена (см. раздел 7.11) вследствие таких факторов, как сложность структуры тарифов на рынках энергии (возрастающая по мере дерегулирования этих рынков), условия торговли электроэнергией и топливом, а также мониторинг выбросов, управление ими и условия торговли соответствующими квотами. В табл. 2.7 представлены основные бизнес-процессы, усовершенствование которых с помощью системы оптимизации энергоресурсов способно внести вклад в сокращение затрат.

Бизнес-процесс	**Играет значительную роль в мотивации (отмечено знаком +)**	
	«Физическая» энергоэффективность	**Оптимизация затрат на получение энергии/условий контрактов**
Прогнозирование потребностей: более точная оценка существующих и будущих потребностей в энергоресурсах за данный промежуток времени (дни, недели, месяцы или годы, в зависимости от особенностей технологического процесса или рынка). Позволяет свести к минимуму: • продолжительность горячего простоя (например, котлов); • сбросы избыточного пара; • нарушения в снабжении энергоресурсами.	+	

Планирование производства энергоресурсов: формирование оптимизированного плана производства энергоресурсов на основе данных о потребностях и доступности ресурсов. Может носить краткосрочный (суточный) или долгосрочный (определение оптимального времени остановки оборудования для ТО) характер.	+	+
Оптимизация технологических процессов в реальном времени: при планировании процесса заранее (например, на сутки вперед) непредвиденные вариации производственного процесса могут сделать план неактуальным. В этих условиях система оптимизации энергоресурсов может предложить операторам рекомендации по оптимальным характеристикам процесса с учетом существующих потребностей и цен.	+	+
Мониторинг оборудования, имеющего отношение к энергоресурсам: система оптимизации энергоресурсов может отслеживать продолжительность и условия эксплуатации отдельных единиц оборудования и систем. Это может использоваться для оптимизации графиков ТО и очистки оборудования, а также предупреждения отказов.	+	
Планирование инвестиций: система оптимизации энергоресурсов может использоваться для оценки вариантов внедрения нового или модификации существующего оборудования, а также других изменений как на основном производстве, так и во вспомогательных системах, например: • подогрев питательной воды в деаэраторе с использованием технологического тепла; • выбора типа привода (двигателя или паровой турбины) или, возможно, двойного привода, обеспечивающего большую гибкость и позволяющего оптимизировать функционирование паровой системы; • повышения доли возврата конденсата; • изменения типа используемых энергоресурсов (например, использование пара более низкого давления); • использования пара для подогрева воздуха, направляемого в печи; • улучшения интеграции с существующими паровыми сетями в случае строительства новых производственных единиц на предприятии или изменения условий функционирования существующих паровых сетей.	+	+

Мониторинг выбросов, управление ими и торговля соответствующими квотами: некоторые виды газообразных выбросов (например, SO_X и CO_2) практически полностью определяются характеристиками сжигаемого топлива (при условии известного состава последнего). Оценка выбросов NO_X требует прогностических моделей, поскольку образование этих соединений зависит не только от состава топлива, но и температуры пламени, используемого оборудования и т.д. Система оптимизации энергоресурсов может включать средства прогнозирования выбросов и формирования соответствующей отчетности, если это требуется условиями комплексного разрешения (например, в части предельно допустимых выбросов). Система оптимизации может также поддерживать принятие решений по управлению выбросами и торговле квотами посредством прогноза потребностей в энергоресурсах и соответствующих выбросов.	+	+
Управление контрактами: (см. раздел 7.11): система оптимизации обеспечивает оператора данными, позволяющими минимизировать и сдвигать пиковое энергопотребление.	(+)	+
Сравнительный анализ тарифов: дерегулирование энергетики привело к появлению огромного количества тарифных планов. Сравнительный анализ и выбор вариантов на основе вычислений, выполняемых вручную, часто оказывается недостаточно точным и быстрым, а система оптимизации энергоресурсов позволяет оптимизировать этот процесс для крупных потребителей.		+
Торговля энергоресурсами: перерабатывающие предприятия все больше инвестируют в развитие когенерации и тригенерации, что позволяет им поставлять часть производимых энергоресурсов внешним потребителям. Это осложняет анализ тарифов и выбор оптимальных цен, и система оптимизации может внести вклад в определение оптимальных условий торговли.		+
Учет и анализ затрат: система оптимизации энергоресурсов позволяет точное распределение затрат в реальном времени, а также оценку истинных предельных затрат. Это может содействовать принятию решений в ситуации выбора между источниками энергоснабжения.		+

Таблица 2.7: Бизнес-процессы, с которыми может быть связана мотивация для внедрения системы оптимизации энергоресурсов

Примеры

1. Schott AG, Германия. См. приложение 7.7.1

Затраты:

- программное обеспечение: около 50 тыс. евро;
- оборудование: около 500 евро на пункт измерения.

Эффект:

- снижение пикового потребления электроэнергии на 3–5 %;
- срок окупаемости инвестиций: 0,9–2 г. (в зависимости от конкретного проекта).

2. Больница «Атриум», Хеерлен, Нидерланды. См. приложение 7.7.2

Была установлена система управления энергоресурсами в реальном времени; внутренняя норма возврата инвестиций составила 49 % (экономический эффект 75– 95 тыс. евро в год при текущих затратах на энергию около 1,2 млн. евро).

Valero Energy Corporation, НПЗ, Хьюстон, Техас, США

В 2002 г. была установлена система оптимизации энергоресурсов для нефтеперерабатывающего производства. Согласно оценкам, экономический эффект за первый год составил 3,06 млн. евро, в т.ч. за счет сокращения закупок природного газа и электроэнергии.

DSM, химическое предприятие, Гелеен, Нидерланды

Согласно оценкам, норма возврата инвестиций составила более 25%; было достигнуто сокращение совокупных затрат на энергию на 3–4% в результате как энергосбережения, так и обеспечения более выгодных условий контрактов с поставщиками.

Справочная информация

- общая информация, примеры Valero и DSM: [171, de Smedt P. Petela E., 2006];
- Schott glass: [127, TWG];
- больница «Атриум» [179, Stijns, 2005].

2.16. Сравнительный анализ

Общая характеристика

В контексте бизнеса под сравнительным анализом (benchmarking) понимается процесс, в ходе которого организация оценивает различные аспекты своей деятельности, сравнивая их с наилучшими практическими подходами, как правило, в пределах своей отрасли. Этот процесс характеризуется следующим образом:

- «сравнительный анализ подразумевает сравнение с другими компаниями и извлечение полезного опыта, присутствующего в практике каждой из этих компаний» (Европейский кодекс сравнительного анализа);
- «сравнительный анализ требует достаточной скромности для того, чтобы признать, что кто-то делает нечто лучше, чем вы, и достаточной мудрости, чтобы научиться делать это так же хорошо и даже лучше» (Американский центр продуктивности и качества).

Сравнительный анализ представляет собой мощный инструмент, позволяющий преодолеть замкнутость в собственной парадигме (эта замкнутость может быть охарактеризована следующим образом: «наш способ делать это – самый лучший, потому что мы всегда делали это так»). Поэтому сравнительный анализ может использоваться в качестве одного из инструментов постоянного улучшения и поддержания мотивации для дальнейшего развития инициатив по энергосбережению (см. разделы 2.2.1 и 2.5).

В основе сравнительного анализа энергоэффективности лежат данные, собранные на предприятиях, и результаты анализа этих данных (см. информацию об измерениях и мониторинге, а также энергоаудитах в разделах 2.10 и 2.11). На основе этих данных формируются показатели энергоэффективности, которые могут использоваться компанией – оператором установки для оценки динамики результативности с течением времени, а также для сравнения с другими предприятиями отрасли. Вопросы определения и использования показателей энергоэффективности обсуждаются в разделах 1.3, 1.4 и 1.5.

Важно отметить, что используемые показатели должны быть прослеживаемыми (т.е. должна существовать возможность проследить процесс их формирования на основе исходных данных) и

поддерживаться в актуальном состоянии. В некоторых ситуациях значительную роль могут играть соображения, связанные с конфиденциальностью данных (например, в ситуации, когда затраты на энергию составляют значительную часть себестоимости продукции). Поэтому при разработке инструментов сравнительного анализа важно принимать во внимание связанные с конфиденциальностью интересы участвующих компаний и отраслевых ассоциаций с тем, чтобы обеспечить удобство инструментов для возможных пользователей. Конфиденциальность может быть сохранена при помощи:

- соглашений;
- представления данных в форме, не нарушающей конфиденциальности (например, раскрытия фактических и целевых показателей, укрупненных по нескольким установкам или продуктам);
- передачи данных для анализа и сравнения третьей стороне, пользующейся доверием участвующих компаний (например, отраслевой ассоциации или государственному агентству).

Возможен также сравнительный анализ отдельных технологических процессов и производственных методов (см. также «Совершенство в производственной деятельности» в разделе 2.5 и «Примеры» ниже).

Сбор данных по энергоэффективности должен быть тщательно организован; особое внимание должно быть уделено обеспечению сопоставимости данных. В некоторых случаях необходима корректировка (нормализация) данных при помощи специальных коэффициентов, позволяющих учесть различия в типах используемого сырья, возрасте оборудования и т.п. Принципы такой нормализации должны быть согласованы на соответствующем уровне (например, национальном или международном). Крайне важно обеспечить единообразное представление данных по энергопотреблению – в пересчете на первичную энергию, на основе низшей теплоты сгорания и т.п., см. разделы 1.3, 1.4 и 1.5.

Сравнительный анализ может производиться на основе временных рядов данных. Это позволяет:

- продемонстрировать влияние определенных мер на совокупное энергопотребление (в масштабах предприятия, отрасли, региона и т.д.);
- организовать внутренний анализ динамики энергоэффективности предприятия, если сравнение с результативностью других предприятий невозможно или затруднительно.

Основной проблемой, связанной с использованием временных рядов, является то, что оценка эффекта определенных мер на их основе возможна лишь в предположении о неизменности всех прочих существенных условий.

Может также производиться сравнение с теоретическими потребностями в энергии или энтальпии (см. информацию о сравнительном анализе в стекольной промышленности в подразделе «Примеры» ниже). Соответствующие величины рассчитываются на основе теоретических величин тепловой энергии, энергии плавления, а также кинетической и потенциальной энергии, характерных для данного процесса. Подобный подход:

- дает отправную точку для предварительных оценок;
- является относительно несложным при наличии соответствующего опыта и квалификации;
- позволяет продемонстрировать разрыв между теоретическим и фактическим энергопотреблением (эти данные могут сопровождаться анализом временных рядов с целью выявления эффекта мер по повышению энергоэффективности).

Основным недостатком такого подхода является невозможность учета особенностей конкретного предприятия и конкретной реализации технологического процесса.

Экологические преимущества

Мощный инструмент поддержки деятельности по повышению энергоэффективности, который может применяться на постоянной основе.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

См. «Общая характеристика».

Применимость

Сравнительный анализ может использоваться на уровне установки, группы компаний или установок, а также в рамках отраслевых ассоциаций. Кроме того, необходимым или полезным может быть сравнительный анализ отдельных производственных единиц, технологических процессов и систем, например, обсуждаемых в главе 3 (см. также разделы 1.3, 1.4 и 1.5).

Для сравнительного анализа можно использовать, в частности, данные, приводимые в отраслевых Справочных документах, а также данные, подтвержденные третьей стороной.

Периодичность проведения сравнительного анализа зависит от конкретной отрасли, но, как правило, такой анализ проводится не чаще, чем раз в год или несколько лет, поскольку данные, лежащие в его основе, редко претерпевают существенные изменения за короткий промежуток времени.

В процессе сравнительного анализа могут возникнуть проблемы, связанные с соображениями конкуренции или конфиденциальности данных. В некоторых случаях результаты сравнительного анализа могут быть конфиденциальными. Кроме того, возможна ситуация, при которой сравнительный анализ невозможен в силу того, что в ЕС или в мире существует лишь небольшое количество предприятий, выпускающих аналогичную продукцию.

Экономические аспекты

Основные затраты на проведение сравнительного анализа могут быть связаны со сбором собственных данных предприятия. Однако получение внешних данных для сравнения, а также организация моделирования для нормализации данных могут потребовать дополнительных затрат.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат.

Примеры

Дополнительная информация по перечисляемым ниже примерам сравнительного анализа приведена в приложении 7.9.

Австрийское энергетическое агентство

В докладе Австрийского энергетического агентства «Сравнительный анализ энергопотребления на уровне компании» приведены примеры сравнительного анализа на основе показателей, отличных от удельного энергопотребления на единицу продукции.

Схема сравнительного анализа для малых и средних предприятий Норвегии

В Норвегии поддерживается схема сравнительного анализа для малых и средних предприятий, действующая на основе специализированного сайта в Интернете.

Соглашения о сравнительном анализе

В Нидерландах практикуются долгосрочные соглашения между правительством и крупными компаниями (энергопотребление которых превышает 0,5 ПДж/год), предусматривающие проведение сравнительного анализа. Аналогичная схема действует во Фландрии (Бельгия).

Сравнительный анализ в стекольной промышленности

В стекольной промышленности ведутся исследования по разработке энергоэффективных методов плавки стекла; в публикациях отражены некоторые результаты этих исследований:

- наилучшие практические методы и методики применения энергетических балансов;

- методы определения теоретических потребностей в энергии и энтальпии, а также наименьшего практически достижимого уровня энергопотребления;
- сравнительный анализ удельного энергопотребления промышленных печей;
- разработка новых методов плавки и осветления стекла.

Распределение энергозатрат и выбросов CO_2 по различным видам продукции, производимым в результате сложного процесса, состоящего их последовательных этапов (Франция)

Французские крахмальные предприятия с помощью привлеченных консультантов разработали методику оценки и распределения энергозатрат при изготовлении крахмала и производных продуктов. Методика используется для:

- распределения энергозатрат по различным этапам производственного процесса и видам продукции;
- распределения выбросов CO_2 по различным этапам производственного процесса и видам продукции;
- оценки достигнутого повышения энергоэффективности.

Данная методика может использоваться в качестве инструмента сравнительного анализа.

Справочная информация

[10, Layer, 1999, 13, Dijkstra, , 108, Intelligent Energy - Europe, 2005, 127, TWG, , 156, Beerkens, 2004, 157, Beerkens R.G.C. , 2006, 163, Dow, 2005, 227, TWG]

2.17. Прочие инструменты

Некоторые другие инструменты, которые могут использоваться на уровне предприятия для целей энергоаудита и менеджмента энергоэффективности, перечислены в приложении Annex 7.8.

3. Технологии, которые следует рассматривать для обеспечения энергоэффективности на уровне энергопотребляющих систем, процессов и видов деятельности

В главах 2 и 3 применяется иерархический подход:

- В главе 2 описаны технологии (технические методы), которые могут применяться на уровне установки в целом для достижения максимальной энергоэффективности;
- В главе 3 описаны технологии (технические методы), которые могут применяться на уровнях ниже уровня установки: прежде всего, на уровне энергопотребляющих систем (например, систем обеспечения сжатым воздухом или паром) или видов деятельности (например, сжигания топлива), а затем на уровне отдельных энергопотребляющих компонентов и единиц оборудования (например, двигателей).

В этих двух главах представлены как подходы к совершенствованию систем менеджмента, так и методы интеграции процессов, а также конкретные меры технического характера. Однако в практической деятельности по оптимизации энергоэффективности все эти методы используются совместно и тесно взаимосвязаны друг с другом. Многие примеры комплексного подхода демонстрируют применение всех трех типов мер. Это осложняет четкое разграничение методов при их описании и делает границы между ними до некоторой степени условными.

Перечни технических методов и инструментов, приводимые в настоящей главе и главе 2, не являются исчерпывающими. Другие методы, столь же приемлемые в контексте КПКЗ и НДТ, могут существовать в настоящее время или быть разработаны в будущем. Предлагаемые методы могут использоваться как по отдельности, так и в сочетании друг с другом; информация, приводимая в главе 1, предназначена для поддержки внедрения этих методов, отвечающего целям КПКЗ.

По возможности, при описании каждого метода в настоящей главе и главе 2 используется стандартная структура, представленная в таблице 3.1. Эта же структура используется при описании рассматриваемых систем, например, системы менеджмента энергоэффективности (на уровне установки) или систем обеспечения сжатым воздухом и паром (на более низких уровнях).

Категория	Приводимая информация
Общая характеристика	Краткое описание предлагаемого метода повышения энергоэффективности с иллюстрациями, схемами и графиками
Экологические преимущества	Основные экологические преимущества, подтвержденные данными о выбросах/сбросах и потреблении ресурсов. В контексте данного документа, прежде всего, данные о повышении энергоэффективности, но также и другая информация о сокращении выбросов/сбросов загрязняющих веществ и снижении потребления ресурсов
Воздействие на различные компоненты окружающей среды	Любые побочные эффекты и негативные воздействия, затрагивающие те или иные компоненты окружающей среды, в результате применения предлагаемого метода. Информация об экологических проблемах, связанных с применением данного метода, в сравнении с другими методами
Производственная информация	Производственные характеристики метода (технологии), отражающие потребление энергии и других ресурсов (сырья и воды), а также выбросы/сбросы и образование отходов. Любая другая информация, относящаяся к внедрению и использованию технологии, а также управлению ей, включая аспекты безопасности, эксплуатционные ограничения, качество продукции и т.д.
Применимость	Факторы, определяющие применимость метода, в том числе при внедрении на существующих предприятиях (например, необходимые площади, специфичность для определенных производственных процессов, другие ограничения или неблагоприятные эффекты, связанные с использованием метода)
Экономические аспекты	Сведения о затратах (капитальных и эксплуатационных) и объемах энергосбережения (в денежных единицах или кВт·ч для тепловой и/или

	электрической энергии), связанных с применением метода (технологии), а также других формах экономии (например, сокращение потребления сырья или платежей за образование отходов), в т.ч. на единицу производительности технологии
Мотивы внедрения	Возможные мотивы (помимо Директивы КПКЗ) для внедрения метода (например, законодательные требования, добровольные обязательства, экономические соображения)
Примеры	Ссылка, как минимум, на один случай, в котором сообщалось о внедрении метода (технологии)
Справочная информация	Источники сведений, использованных при подготовке раздела, а также источники дополнительной информации

Таблица 3.1. Структура описания систем и методов в главах 2 и 3

3.1. Сжигание

Введение

Сжигание или горение представляет собой сложную последовательность экзотермических химических реакций между топливом и окислителем, происходящих с выделением тепловой и световой или только тепловой энергии, и сопровождающихся свечением или пламенем.

В случае полного сгорания все горючие вещества, содержащиеся в топливе, вступают в реакцию с окислителем с образованием соединений – продуктов сгорания. На практике сгорание никогда не бывает полным. Так, при сжигании углерода (угля) или его соединений (углеводородов, древесины и т.д.) в отходящих газах присутствует как элементарный углерод (сажа), так и продукты неполного сгорания (CO и др.). Кроме того, при использовании в качестве окислителя атмосферного воздуха часть азота окисляется с образованием различных оксидов азота (NOx), способных оказывать воздействие на окружающую среду [122, Wikipedia_Combustion, 2007].

Установки по сжиганию топлива

Установки по сжиганию, обсуждаемые в настоящем разделе, представляют собой устройства или установки, производящие тепловую энергию для отопления или использования в определенном технологическом процессе на основе сжигания топлива (в т.ч. отходов). К устройствам подобного рода относятся, в частности:

- котлы для производства пара или горячей воды (см. также раздел 3.2)
- источники тепловой энергии, необходимой для различных технологических процессов, например, дистилляции сырой нефти, парового крекинга в нефтехимическом производстве или парового риформинга при производстве водорода;
- печи или установки, в которых исходные материалы нагреваются с целью создания условий для химических превращений при повышенной температуре, например, цементные печи или плавильные печи в металлургии.

Во всех перечисленных случаях возможно влиять на затраты энергии как посредством управления параметрами энергопотребляющих процессов, так и посредством управления процессом сжигания. Подходы, которые могут применяться на стороне энергопотребляющих процессов, зависят от особенностей конкретного процесса и обсуждаются в Справочных документах для соответствующих отраслей.

Потери энергии при сжигании топлива

Тепловая энергия, выделяющаяся при сжигании топлива, передается рабочему телу. Потери энергии, имеющие место при сжигании, могут быть классифицированы следующим образом [125, EIPPCB]:

- потери с отходящими газами. Уровень этих потерь зависит от температуры отходящих газов, состава используемого топлива и воздуха (окислителя), а также степени зашлакованности поверхностей нагрева;

- потери, связанные с неполным сгоранием, в результате которого часть химической энергии топлива не преобразуется в тепловую энергию. Неполное сгорание приводит, в частности, к появлению CO и углеводородов в отходящих газах;
- потери, связанные с теплопроводностью и излучением. При производстве пара уровень этих потерь зависит, главным образом, от качества теплоизоляции котла (парогенератора) и паропроводов;
- потери, связанные с наличием несгоревшего топлива в твердых остатках сгорания, в частности, с присутствием непрореагировавшего углерода в зольных остатках и золе уноса котлов;
- потери, связанные с продувкой котлов, используемых для производства пара.

Помимо потерь тепла, необходимо принимать во внимание энергопотребление вспомогательного оборудования (например, систем транспортировки топлива, угольных мельниц, насосов и вентиляторов, систем золоудаления, систем очистки теплопередающих поверхностей и т.д.).

Выбор технических методов, используемых при сжигании топлива

Технические методы (технологии), применяемые при производстве тепловой энергии на крупных топливосжигающих установках (с тепловой мощностью, превышающей 50 МВт) с использованием различных видов топлива (например, биомассы или торфа, жидкого или газообразного топлива), подробно обсуждаются в Справочном документе по крупным топливосжигающим предприятиям (далее – LCP BREF). Приводимые в указанном документе рекомендации могут применяться и для меньших установок (поскольку предприятие с общей тепловой мощностью, превышающей 50 МВт, может состоять из нескольких блоков).

Для удобства читателя в табл. 3.2 приведена сводка методов повышения энергоэффективности при сжигании, рекомендуемых LCP BREF[28] и настоящим документом. Во избежание дублирования информации рекомендации, приводимые в LCP BREF, не воспроизводятся в настоящем документе. Однако в настоящем документе приводятся дополнительные рекомендации по некоторым методам, описанным в LCP BREF. Следует отметить, что в LCP BREF методы, которые следует рассматривать при определении НДТ, классифицированы по виду используемого топлива. Применимость методов может зависеть от условий конкретного производства.

Если сжигание топлива играет важную роль в конкретных отраслях КПКЗ (например, при плавке металлов), применимые технические методы обсуждаются в Справочных документах для соответствующих отраслей.

	Методы для отраслей и видов деятельности, сжигание топлива в которых не охвачено соответствующими отраслевыми Справочными документами				
	Методы, описываемые в LCP BREF (июль 2006 г.), по видам топлива				Методы, описываемые в настоящем документе
	Каменный и бурый уголь	Биомасса и торф	Жидкое топливо	Газообразное топливо	
Предварительная сушка бурого угля	4.4.2				
Газификация угля	4.1.9.1, 4.4.2, 7.1.2				
Сушка топлива		5.1.2, 5.4.2, 5.4.4			
Газификация биомассы		5.4.2 , 7.1.2			
Прессование коры		5.4.2, 5.4.4			

[28] Ссылки приводятся согласно версии LCP BREF от июля 2006 г.

Использование турбодетандеров для утилизации энергии сжатого газа				7.1.1, 7.1.2, 7.4.1, 7.5.1	
Когенерация	4.5.5, 6.1.8	5.3.3, 5.5.4	4.5.5, 6.1.8	7.1.6, 7.5.2	3.4. Когенерация
Усовершенствованный компьютерный контроль за условиями горения с целью сокращения выбросов и увеличения производительности	4.2.1, 4.2.1.9, 4.4.3, 4.5.4	5.5.3	6.2.1, 6.2.1.1, 6.4.2, 6.5.3.1	7.4.2 , 7.5.2	
Использование тепла дымовых газов для централизованного теплоснабжения	4.4.3				
Низкие избытки воздуха горения	4.4.3, 4.4.6	5.4.7	6.4.2, 6.4.5	7.4.3,	3.1.3. Сокращение массового расхода дымовых газов посредством снижения избытка воздуха горения
Снижение температуры дымовых газов	4.4.3		6.4.2		3.1.1: Снижение температуры дымовых газов при помощи: • подбора оптимальных размеров и других характеристик оборудования исходя из требуемой максимальной мощности с учетом расчетного запаса надежности; • интенсификации передачи тепла технологическому процессу посредством увеличения удельного потока тепла, увеличения площади или усовершенствования поверхностей теплообмена; • рекуперация тепла дымовых газов с использованием дополнительного технологического процесса (например, производства пара при помощи экономайзера); • установки подогревателя воздуха или воды (см. 3.1.1.1), или предварительного подогрева топлива при помощи тепла дымовых газов (см. 3.1.1). Следует отметить, что подогрев воздуха может быть необходим, если технологический процесс требует высокой температуры пламени (например, в стекольном или цементном производстве); • очистки поверхностей теплообмена от накапливающейся золы и частиц углерода с целью поддержания высокой теплопроводности. В

					частности, в конвекционной зоне могут периодически использоваться сажесдуватели. Очистка поверхностей теплообмена в зоне горения, как правило, осуществляется во время остановки оборудования для осмотра и ТО, однако в некоторых случаях используется очистка без остановки (например, в нагревателях на НПЗ).
Снижение концентрации CO в дымовых газах	4.4.3		6.4.2		
Аккумуляция тепла			6.4.2	7.4.2	
Отведение дымовых газов через градирню	4.4.3		6.4.2		
Различные решения для системы охлаждения (см. СД по промышленным системам охлаждения)	4.4.3		6.4.2		
Предварительный подогрев топливного газа за счет отходящего тепла				7.4.2	3.1.1. Снижение температуры дымовых газов посредством: организации подогрева топлива за счет тепла дымовых газов
Предварительный подогрев воздуха горения за счет отходящего тепла				7.4.2	3.1.1. Снижение температуры дымовых газов посредством: организации подогрева воздуха горения за счет тепла дымовых газов (см. раздел 3.1.1.1). Следует отметить, что подогрев воздуха может быть необходим, если технологический процесс требует высокой температуры пламени (например, в стекольном или цементном производстве).
Рекуперативные и регенеративные горелки					3.1.2
Автоматизированное управление горелками					3.1.4
Выбор топлива					3.1.5
Кислородное сжигание					3.1.6
Снижение потерь при помощи теплоизоляции					3.1.7
Сокращение потерь через отверстия печей					3.1.8
Сжигание в кипящем слое	4.1.4.2	5.2.3			

Таблица 3.2: Сводка методов повышения энергоэффективности при сжигании топлива, предлагаемых Справочными документами по крупным топливосжигающим установкам (LCP BREF) и энергоэффективности

[236, Fernández-Ramos, 2007]

Вопросам энергоэффективности паровых систем специально посвящен раздел 3.2, хотя его тематика до некоторой степени пересекается с темами настоящего раздела.

Общий энергетический баланс

Нижеследующая информация применима как к процессам пламенного сжигания (с использованием горелок), так и к сжиганию в кипящем слое. Она посвящена исключительно процессу сжигания – от поступления топлива и окислителя до выброса дымовых газов.

Общая схема энергетического баланса при относительно низкотемпературном сжигании приведена на рис. 3.1.

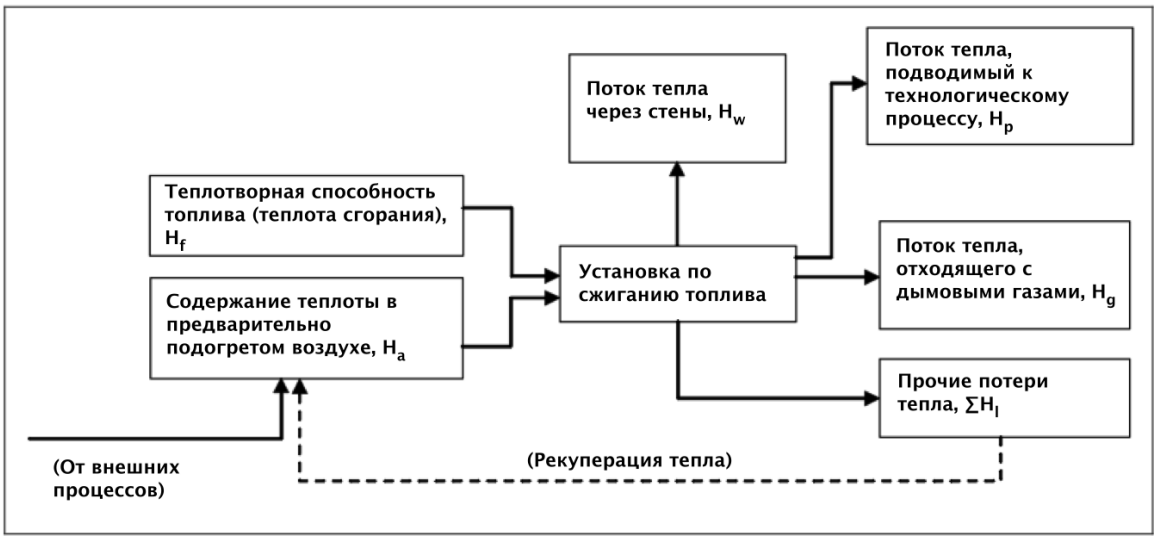


Рисунок 3.1. Энергетический баланс топливосжигающей установки

[91, CEFIC, 2005]

Отдельные потоки энергии

Потенциальное содержание тепла во входном потоке топлива H_f определяется массовым расходом топлива, а также удельной теплотой его сгорания (количеством тепловой энергии, выделяющейся при сжигании единицы массы топлива). Теплота сгорания измеряется в МДж/кг. Высшая теплота сгорания топлива (ВТС, высшая теплотворная способность, теплота сгорания брутто) представляет собой общее количество тепла, которое можно получить после охлаждения продуктов сгорания до исходной температуры топлива. Низшая теплота сгорания топлива (НТС, теплота сгорания нетто) представляет собой общее количество тепла, образующегося при сгорании, за исключением теплоты неохлажденных продуктов сгорания, включая теплоту конденсации образовавшегося водяного пара. Как правило, НТС топлива на 5–10% ниже, чем его ВТС. (Более подробная информация об этом и некоторые характерные величины приведены в разделе 1.3.6.2).

В результате функционирования системы сжигания к технологическому процессу подводится поток тепла H_p. Этот поток состоит из явного тепла (которое проявляется в увеличении температуры), скрытой теплоты испарения (в случае частичного или полного испарения нагреваемой жидкости), а также «химической теплоты» или энергии химических связей (в том случае, если за счет теплоты, выделившейся при сгорании топлива, происходили эндотермические реакции).

Отходящее тепло H_g представляет собой теплоту дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу. Поток отходящего тепла зависит от массового расхода дымовых газов, их температуры и теплоемкости, а также скрытой теплоты конденсации водяного пара в составе дымовых газов. Массовый расход дымовых газов может быть представлен как сумма двух следующих составляющих:

- «стехиометрический поток» CO_2 и H_2O, образовавшихся в процессе сгорания, а также поток азота, соответствующий количеству израсходованного кислорода воздуха (этот массовый расход пропорционален H_f);

- поток избыточного воздуха, представляющий собой количество воздуха, поступившее в топку сверх необходимого для полного сгорания топлива согласно стехиометрической пропорции. Содержание кислорода в дымовых газах прямо пропорционально массовому расходу избыточного воздуха.

Поток тепла через стены H_W представляет собой потери тепловой энергии в результате теплообмена внешних поверхностей печи или котла с окружающим воздухом. Прочите потери тепла, обозначенные как H_l, включают:

- теплоту сгорания неокислившихся или не полностью окислившихся остатков или продуктов сгорания, например, частиц углерода или газообразного CO;
- тепловую энергию, содержащуюся в твердых остатках (золе).

В этих условиях закон сохранения энергии может быть выражен следующим образом:

$$H_f + H_a = H_p + H_g + H_w + \sum H_l \qquad \textbf{Уравнение 3.1}$$

Это – универсальная формула, которая может адаптироваться к конкретным условиям, прежде всего, путем модификации членов H_a и $\sum H_l$:

- в зависимости от конфигурации конкретного процесса, в баланс могут включаться и другие энергетические потоки. В частности, это может иметь место в том случае, если в процессе сгорания в топку поступают или удаляются из нее дополнительные материалы, например:
  - горячая зола, удаляемая из топки (при сжигании угля);
  - вода, впрыскиваемая в камеру сгорания с целью сокращения выбросов;
  - воздух горения (в случае учета содержания в нем энергии).
- данное уравнение баланса (в отсутствие члена H_l) подразумевает, что сгорание топлива является полным: это предположение справедливо, если содержание частиц топлива и продуктов неполного сгорания (например, оксида углерода) в дымовых газах невелико, что имеет место в том случае, если установка отвечает установленным нормативам выбросов[29].

Энергоэффективность (КПД) установки по сжиганию топлива

Общая энергоэффективность (КПД) топливосжигающей установки определяется отношением энергии, подводимой к энергопотребляющему технологическому процессу в результате функционирования установки, к энергии, содержащейся в поступающем топливе (теплоте сгорания):

$$\eta = \frac{H_p}{H_f} \qquad \textbf{Уравнение 3.2}$$

Или, с учетом Уравнения 3.1:

$$\eta = 1 - \frac{H_g + H_w}{H_f} \qquad \textbf{Уравнение 3.3}$$

На практике могут использоваться обе формулы, однако Уравнение 3.3 может оказаться более полезным, поскольку в нем в явном виде представлены потери энергии, представляющие собой потенциал для повышения энергоэффективности. В основе стратегий повышения энергоэффективности может лежать сокращение потерь тепла через стены или с дымовыми газами.

[29] На ТЭС, использующей пылеугольное топливо, содержание несгоревшего углерода в золе уноса при условиях, типичных для современных предприятий, не превышает 5%.

Повышение энергоэффективности (КПД) топливосжигающей установки позволяет достигнуть сокращения выбросов CO_2 при условии, что это улучшение приводит к сокращению потребления топлива. В этом случае выбросы CO_2 снижаются пропорционально сокращению потребления топлива. Однако результатом повышения КПД может быть и увеличение производства полезной энергии при неизменном расходе топлива (повышение H_p при неизменном H_f в Уравнении 3.2). Это может привести к увеличению производительности или мощности производственной единицы с одновременным повышением энергоэффективности. В этом случае имеет место сокращение удельных выбросов CO_2 (на единицу продукции), но абсолютный объем выбросов остается неизменным (см. раздел 1.4.1).

Ориентировочные показатели энергоэффективности (КПД) и соответствующие расчеты для различных процессов сжигания топлива приводятся в отраслевых Справочных документах и других источниках. В частности, в документе EN 12952-15 содержатся рекомендации по расчету КПД водотрубных котлов и соответствующего вспомогательного оборудования, а в документе EN 12953-11 –жаротрубных котлов.

3.1.1. Снижение температуры дымовых газов

Общая характеристика

Одним из вариантов сокращения потерь тепловой энергии в процессе сгорания является снижение температуры дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу. Это может быть достигнуто посредством:

- подбора оптимальных размеров и других характеристик оборудования исходя из требуемой максимальной мощности с учетом расчетного запаса надежности;
- интенсификации передачи тепла технологическому процессу посредством увеличения удельного потока тепла (в частности, при помощи завихрителей-турбулизаторов, увеличивающих турбулентность потоков рабочего тела), увеличения площади или усовершенствования поверхностей теплообмена;
- рекуперации тепла дымовых газов с использованием дополнительного технологического процесса (например, производства пара при помощи экономайзера, см. раздел 3.2.5);
- установки подогревателя воздуха или воды, или организации предварительного подогрева топлива за счет тепла дымовых газов (см. 3.1.1). Следует отметить, что подогрев воздуха может быть необходим, если технологический процесс требует высокой температуры пламени (например, в стекольном или цементном производстве). Подогретая вода может использоваться для питания котла или в системах горячего водоснабжения (в т.ч. централизованного отопления);
- очистки поверхностей теплообмена от накапливающейся золы и частиц углерода с целью поддержания высокой теплопроводности. В частности, в конвекционной зоне могут периодически использоваться сажесдуватели. Очистка поверхностей теплообмена в зоне горения, как правило, осуществляется во время остановки оборудования для осмотра и ТО, однако в некоторых случаях используется очистка без остановки (например, в нагревателях на НПЗ);
- обеспечение уровня производства тепла, соответствующего существующим потребностям (не превышающего их). Тепловую мощность котла можно регулировать, например, посредством подбора оптимальной пропускной способности форсунок для жидкого топлива или оптимального давления, под которым подается газообразное топливо.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Снижение температуры дымовых газов при определенных условиях может вступать в противоречие с целями обеспечения качества воздуха, например:

- предварительный подогрев воздуха горения приводит к повышению температуры пламени и, как следствие, к более интенсивному образованию NOx, что может привести к превышению установленных нормативов выбросов. Внедрение предварительного подогрева воздуха на существующих установках может оказаться затруднительным или экономически неэффективным вследствие недостатка пространства, необходимости установки дополнительных вентиляторов, а также систем подавления образования NOx (при наличии риска превышения установленных нормативов). Следует отметить, что метод подавления образования NOx при помощи впрыскивания аммиака или мочевины сопряжен с риском попадания аммиака в дымовые газы. Предотвращение этого может требовать установки дорогостоящих датчиков аммиака и системы управления впрыскиванием, а также – в случае значительных вариаций нагрузки – сложной системы впрыскивания, позволяющей впрыскивать вещество в область с надлежащей температурой (например, системы из двух групп инжекторов, установленных на разных уровнях);
- системы газоочистки, включая системы подавления или удаления NOx и SOx, работают лишь в определенном температурном диапазоне. Если установленные нормативы выбросов требуют использования подобных систем, организация их совместного функционирования с системами рекуперации может оказаться сложной и экономически неэффективной;
- в некоторых случаях местные органы власти устанавливают минимальную температуру дымовых газов на срезе трубы с целью обеспечения адекватного рассеяния дымовых газов и отсутствия дымового факела. Кроме того, компании могут по собственной инициативе применять подобную практику для улучшения своего имиджа. Широкая общественность может интерпретировать наличие видимого дымового факела как признак загрязнения окружающей среды, в то время как отсутствие дымового факела может рассматриваться как признак чистого производства. Поэтому при определенных погодных условиях некоторые предприятия (например, мусоросжигательные заводы) могут специально подогревать дымовые газы перед выбросом в атмосферу, используя для этого природный газ. Это приводит к непроизводительному расходу энергии.

Производственная информация

Чем ниже температура дымовых газов, тем выше уровень энергоэффективности. Однако снижение температуры газов ниже определенного уровня может быть сопряжено с некоторыми проблемами. В частности, если температура оказывается ниже кислотной точки росы (температуры, при которой происходит конденсация воды и серной кислоты, как правило, 110–170 ºC в зависимости от содержания серы в топливе), это может привести к коррозии металлических поверхностей. Это может потребовать применения материалов, устойчивых к коррозии (такие материалы существуют и могут применяться на установках, использующих в качестве топлива нефть, газ или отходы), а также организации сбора и переработки кислого конденсата.

Применимость

Перечисленные выше стратегии (за исключением периодической очистки) требуют дополнительных инвестиций. Оптимальным для принятия решения об их использовании является период проектирования и строительства новой установки. В то же время, возможно и внедрение этих решений на существующем предприятии (при наличии необходимых площадей для установки оборудования).

Некоторые применения энергии дымовых газов могут быть ограничены вследствие разницы между температурой газов и потребностями в определенной температуре на входе энергопотребляющего процесса. Приемлемая величина указанной разницы определяется балансом между соображениями энергосбережения и затратами на дополнительное оборудование, необходимое для использования энергии дымовых газов.

Практическая возможность рекуперации всегда зависит от наличия возможного применения или потребителя для полученной энергии (см.раздел 3.3).

Меры по снижению температуры дымовых газов могут приводить к увеличению образования некоторых загрязняющих веществ (см. «Воздействие на различные компоненты окружающей среды» выше).

Экономические аспекты

Срок окупаемости может находиться в диапазоне от менее пяти лет до пятидесяти лет в зависимости от множества параметров, включая размер установки, температуру дымовых газов и т.д.

Мотивы внедрения

Повышение энергоэффективности процесса, в особенности, там, где имеет место прямой нагрев (например, в стекольном или цементном производстве).

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[17, Åsbland, 2005, 26, Neisecke, 2003, 122, Wikipedia_Combustion, 2007, 125, EIPPCB]

3.1.1.1. Установка подогревателя воздуха или воды

Общая характеристика

Помимо экономайзера (см. раздел 3.2.5), в системе сжигания может быть установлен предварительный подогреватель воздуха (газо-воздушный теплообменник). В таком подогревателе воздух горения, как правило, поступающий из атмосферы и имеющий соответствующую температуру, нагревается за счет энергии дымовых газов, что приводит к охлаждению последних. Повышение температуры воздуха способствует улучшению условий горения, что приводит к повышению общего КПД системы сжигания. В среднем, снижение температуры дымовых газов на каждые 20 °C приводит к повышению КПД на 1%. Схема системы сжигания с подогревателем воздуха представлена на рис. 3.2.

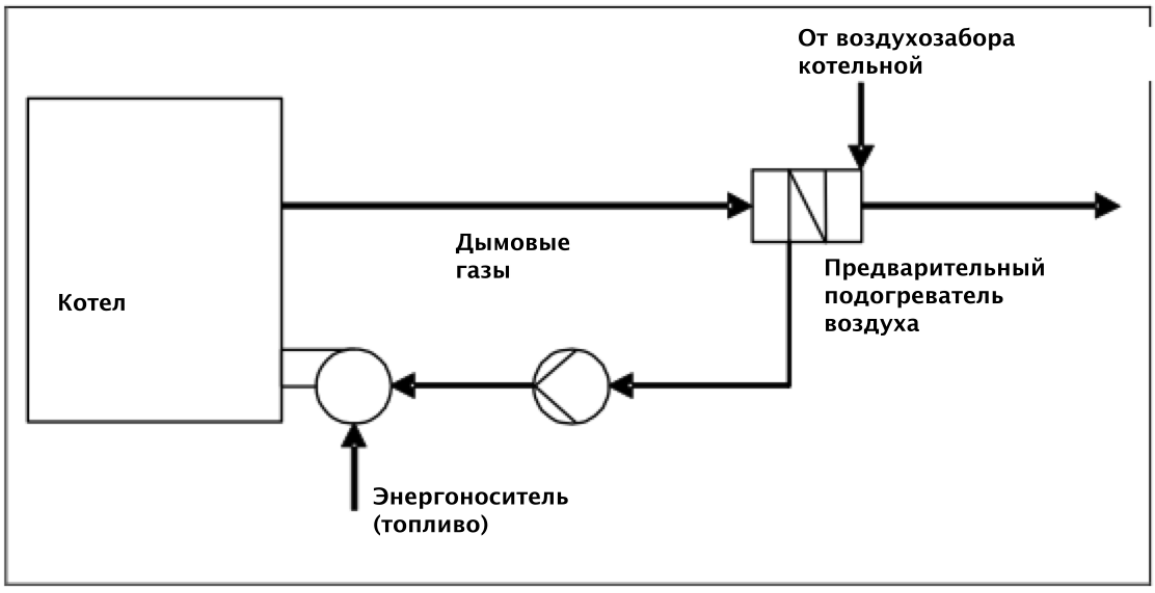


Рисунок 3.2.: Схема системы сжигания с предварительным подогревом воздуха

[28, Berger, 2005]

Менее эффективный, но более простой способ предварительного подогрева состоит в размещении воздухозаборника под потолком в помещении котельной. Во многих случаях температура воздуха в помещении превышает температуру наружного воздуха на10–20 °C. Это может позволить частично скомпенсировать потери тепловой энергии.

Еще одно решение – организация воздухозабора и отведения дымовых газов при помощи коаксиального газохода (трубы с двойными стенками). Дымовые газы отводятся по внутренней

трубе, в то время как по внешней поступает воздух горения. Теплообмен между газовыми потоками через стенку трубы обеспечивает предварительный подогрев поступающего воздуха.

Вместо газо-воздушного может быть установлен водно-газовый теплообменник для предварительного подогрева питательной воды котла.

Экологические преимущества

Организация предварительного подогрева воздуха способна обеспечить повышение КПД системы сжигания на 3-5%.

С подогревом воздуха за счет тепла дымовых газов могут быть связаны и другие преимущества:

- горячий воздух может использоваться для сушки топлива. Это особенно актуально в случае угля или органического топлива;
- если подогрев воздуха предусмотрен уже на стадии проектирования, можно ограничиться котлом меньшего размера;
- горячий воздух может использоваться для предварительного подогрева различных видов сырья.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Помимо преимуществ, с организацией предварительного подогрева воздуха связаны и некоторые проблемы, которые часто оказывается препятствием для реализации подобной схемы:

- газо-воздушный теплообменник, необходимый для подогрева воздуха, требует значительного пространства. Кроме того, теплообмен в нем не настолько эффективен, как в водно-газовом теплообменнике;
- дополнительное падение давления дымовых газов на теплообменнике требует большей мощности вентилятора дымососа;
- горелки должны быть рассчитаны на подачу подогретого воздуха горения, который имеет больший объем. Кроме того, использование подогретого воздуха может представлять проблему с точки зрения обеспечения стабильности пламени;
- повышение температуры пламени может привести к увеличению выбросов NOx.

Производственная информация

Предварительный подогрев воздуха горения способствует снижению потерь тепла, связанных с дымовыми газами.

Для расчета потерь тепла с дымовыми газами широко используется формула Зигерта:

$$W_L = \frac{H_g}{H_f} = c \cdot \frac{T_{gas} - T_{air}}{\%CO_2} \qquad \textbf{Уравнение 3.4}$$

где:

W_L – потери тепла с дымовыми газами (в процентах от общей теплоты сгорания топлива)

c – коэффициент Зигерта;

T_{gas} – измеренная температура дымовых газов (°C)

T_{air} – измеренная температура поступающего воздуха (°C)

$\%CO_2$ – измеренная концентрация CO_2 в дымовых газах (в процентах).

Коэффициент Зигерта зависит от температуры дымовых газов, концентрации CO_2 и вида топлива. Значения коэффициента для различных видов топлива приведены в табл. 3.3:

Тип топлива	Коэффициент Зигерта
Антрацит	$0,6459 + 0,0000220 \cdot T_{gas} + 0,00473 \cdot \%CO_2$
Тяжелое топливо	$0,5374 + 0,0000181 \cdot T_{gas} + 0,00717 \cdot \%CO_2$
Жидкое нефтяное топливо	$0,5076 + 0,0000171 \cdot T_{gas} + 0,00774 \cdot \%CO_2$
Природный газ (НТС)	$0,385 + 0,00870 \cdot \%CO_2$
Природный газ (ВТС)	$0,390 + 0,00860 \cdot \%CO_2$

Таблица 3.3. Расчет коэффициента Зигерта в зависимости от вида топлива

[29, Maes, 2005]

Пример: дымовые газы парового котла, использующего высококачественный природный газ, имеют следующие характеристики: $T_{gas} = 240$ °C и $\%CO_2$ = 9,8 %. С целью повышения энергоэффективности воздухозаборник, ранее находившийся снаружи котельной, переносится под потолок помещения.

Среднегодовая температура наружного воздуха составляет 10 °C, а среднегодовая температура воздуха под потолком котельной равна 30°C.

Коэффициент Зигерта в данном случае составляет: $0,390 + 0,00860 \cdot 9,8 = 0,4743$.

До переноса воздухозаборника потери тепла с дымовыми газами составляли:

$$W_L = 0,4743 \cdot \frac{240 - 10}{9,8} = 11,1\%$$

После переноса воздухозаборника потери тепла с дымовыми газами составляют:

$$W_L = 0,4743 \cdot \frac{240 - 30}{9,8} = 10,2\%$$

Это соответствует повышению КПД системы сжигания на 0,9% в результате простого мероприятия – переноса воздухозаборника.

Применимость

Организация предварительного подогрева воздуха является экономически эффективной при строительстве нового котла или установки. Возможности для изменения существующей схемы воздухозабора или организации предварительного подогрева воздуха на существующем предприятии часто ограничены вследствие причин технического характера и соображений пожарной безопасности. Во многих случаях оборудование существующего котла системой предварительного подогрева воздуха является слишком сложным, а эффективность такого мероприятия незначительна.

Подогреватели воздуха представляют собой газо-воздушные теплообменники, конструкция которых зависит от диапазона рабочих температур. Подогреватели воздуха не могут применяться при использовании горелок с естественной тягой.

Подогретая вода может использоваться для питания котла или в системах, использующих горячую воду (например, системах централизованного отопления).

Экономические аспекты

На практике потенциал энергосбережения в результате предварительного подогрева воздуха горения достигает нескольких процентов энергии производимого пара, как показано в табл. 3.4. Поэтому даже для небольших котлов общий объем энергосбережения может достигать нескольких ГВт·ч/год. Например, для котла мощностью 15 МВт может быть достигнуто

энергосбережение в объеме около 2 ГВт·ч/год, экономический эффект в размере около 30 тыс. евро/год, а также снижение выбросов CO_2 на 400 т/год.

	Единица измерения	**Величина**
Энергосбережение	МВт/год	Несколько тысяч
Сокращение выбросов CO_2	т/год	Несколько сот
Экономический эффект	евро/год	Десятки тысяч
Время работы котла	ч/год	8700

Таблица 3.4: Возможные результаты организации предварительного подогрева воздуха горения

[28, Berger, 2005]

Мотивы внедрения

Повышение энергоэффективности производственных процессов.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.1.2. Рекуперативные и регенеративные горелки

Потери энергии являются серьезной проблемой при эксплуатации промышленных печей. При использовании традиционных технологий около 70% получаемой тепловой энергии теряется с отходящими газами (при рабочей температуре процесса около 1300°C). Поэтому меры по энергосбережению в данной области имеют большое значение, в особенности в случае высокотемпературных процессов (температура 400-1600°C).

Общая характеристика

Рекуперативные и регенеративные горелки были разработаны с целью непосредственного использования тепла дымовых газов для подогрева воздуха горения. Рекуператор представляет собой теплообменник, обеспечивающий подогрев поступающего воздуха горения за счет тепловой энергии отходящих газов. Рекуператор может обеспечить экономию около 30% энергии по сравнению с системой, использующей холодный воздух горения. Однако рекуператор, как правило, неспособен обеспечить подогрев воздуха до температуры, превышающей 550-600°C. Рекуперативные горелки могут использоваться при высокой рабочей температуре технологического процесса (700-1100°C).

Регенеративные горелки устанавливаются парами и работают по принципу краткосрочной аккумуляции энергии дымовых газов в керамических регенераторах тепла (см. рис. 3.3). Такие горелки позволяют утилизировать 85-90% тепла отходящих газов печи, обеспечивая подогрев поступающего воздуха горения до очень высоких температур, которые могут достигать величины всего на 100-150°C меньше, чем рабочая температура печи. Горелки подобного типа могут использоваться в диапазоне рабочих температур 800-1500°C. При этом потребление топлива может быть снижено на величину до 60%.

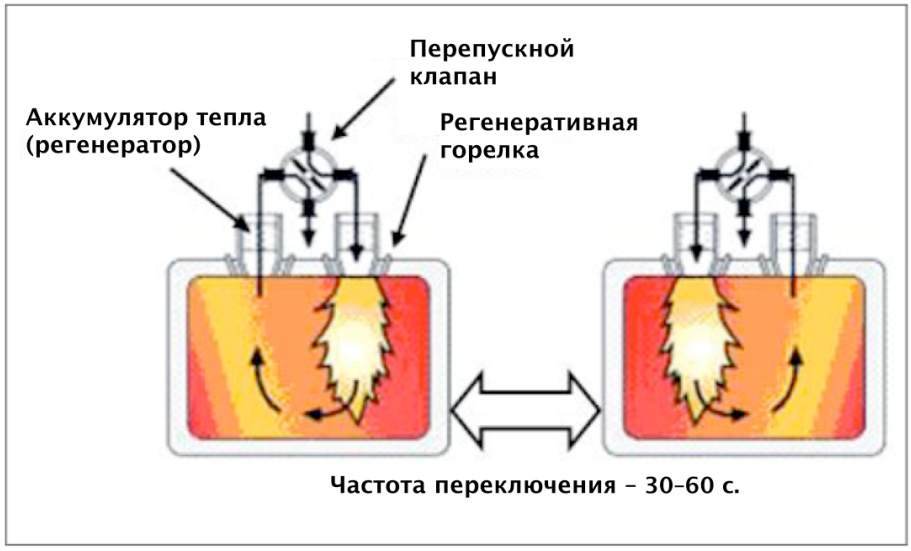


Рисунок 3.3. Принцип работы регенеративных горелок

[17, Åsbland, 2005]

Рекуперативные и регенеративные горелки (технология HiTAC) используются в современных технологиях «беспламенного сжигания»[30] (см. раздел 5.1), характеризующихся значительно увеличенной зоной горения с относительно однородными температурными характеристиками (в отличие от резкого пика температуры, характерного для традиционного пламени). На рис. 3.4 показаны области на графике «температура воздуха горения – концентрация кислорода», соответствующие различным режимам сгорания.

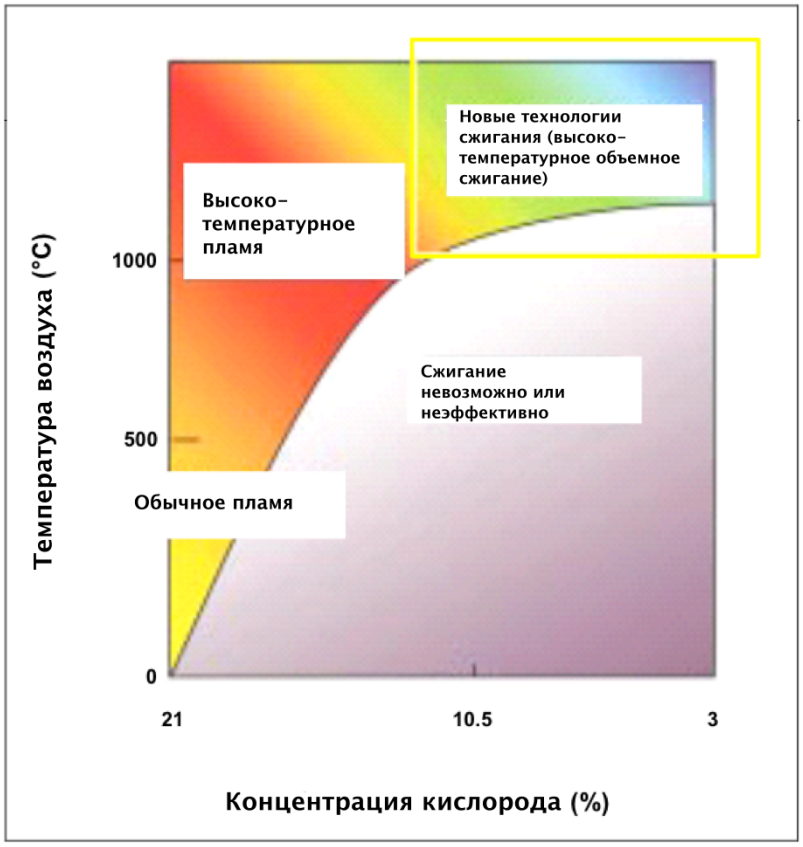


Рисунок 3.4: Различные режимы сжигания

[17, Åsbland, 2005]

[30] В литературе на русском языке под «беспламенным сжиганием» чаще понимается беспламенное каталитическое сжигание на поверхности, а не объемное сжигание с относительно однородным распределением температуры, о котором идет речь в данном случае. (*Прим. пер.*)

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Важным ограничением для современных технологий рекуперативных/регенеративных горелок является противоречие между требованиями энергоэффективности и сокращения выбросов. Объемы образования NOx при использовании топлив, не содержащих азота, зависят, главным образом, от температуры сжигания, концентрации кислорода, а также времени пребывания газов в зоне горения. При сжигании в традиционном пламени результатом подогрева воздуха до значительных температур является высокая пиковая температура пламени, которая, в сочетании со значительным временем пребывания, приводит к существенному увеличению интенсивности образования NOx.

Производственная информация

В промышленных печах использование высокоэффективных регенеративных горелок может обеспечить температуру воздуха горения, достигающую 800–1350ºC. Современные горелки подобного типа с высокой частотой переключения позволяют добиться утилизации 90% отходящего тепла и, как следствие, значительного энергосбережения.

Применимость

Широко применяется.

Экономические аспекты

Недостатком горелок подобного типа являются значительные капитальные затраты на их внедрение. В большинстве случаев одна лишь экономия энергоресурсов неспособна окупить эти затраты. Поэтому при анализе ожидаемого экономического эффекта следует учитывать такие факторы, как возможное повышение производительности печи и снижение образования оксидов азота.

Мотивы внедрения

Важными факторами являются повышение производительности печей и сокращение выбросов оксидов азота.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[220, Blasiak W., 2004, 221, Yang W., 25 May 2005,, 222, Yang W., 2005, 223, Rafidi N., 2005, 224, Mörtberg M., 2005, 225, Rafidi N., June 2005, 226, CADDET, 2003, March]

3.1.3. Сокращение массового расхода дымовых газов за счет снижения избытка воздуха горения

Общая характеристика

Избыток воздуха горения может быть сведен к минимуму при помощи регулирования расхода воздуха в соответствии с расходом топлива. Эта задача может быть значительно облегчена посредством автоматизированного измерения содержания кислорода в дымовых газах. В зависимости от того, насколько быстро и часто меняются соответствующие характеристики технологического процесса, расход воздуха может регулироваться вручную или в автоматизированном режиме. Слишком низкий расход воздуха приводит к затуханию пламени и необходимости повторного зажигания, что может вызывать обратные удары пламени и, как следствие, повреждение оборудования. Поэтому соображения безопасности всегда требуют некоторого избытка воздуха (как правило, 1 – 2% для газообразного топлива и 10% для жидкого).

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Сокращение поступления воздуха горения приводит к увеличению концентрации в дымовых газах несгоревших или неполностью сгоревших продуктов – частиц углерода, оксида углерода и углеводородов, следствием чего может быть превышение установленных нормативов выбросов. Это ограничивает возможности повышения энергоэффективности за счет ограничения расхода воздуха горения. На практике поступление воздуха ограничивается до таких величин, при которых еще не происходит превышения установленных нормативов.

Производственная информация

Возможности для снижения избытка воздуха горения ограничены в силу того, что это приводит к повышению температуры таза в топке; слишком высокие температуры способны привести к повреждению всей системы.

Применимость

Минимальный избыток воздуха горения, необходимый для удержания объема выбросов в установленных пределах, зависит от конструкции горелок и особенностей технологического процесса.

Следует отметить, что использование в качестве топлива твердых отходов требует повышенного объема избыточного воздуха. Мусоросжигательные установки специально проектируются с учетом этой и других особенностей процесса сжигания отходов.

Экономические аспекты

Необходимое количество воздуха горения в значительной степени зависит от выбора топлива, который часто основан на оценке затрат и, возможно, законодательных и других нормативных требованиях.

Мотивы внедрения

Обеспечивает более высокую рабочую температуру, особенно в случае непосредственного нагрева.

Примеры

Некоторые цементные и известковые предприятия, а также мусоросжигательные установки.

Справочная информация

[91, CEFIC, 2005, 125, EIPPCB]][126, EIPPCB]

3.1.4. Автоматизированное управление горелками

Общая характеристика

Автоматизированное управление процессом сжигания может осуществляться посредством мониторинга и регулирования таких параметров, как расход топлива и воздуха горения, содержание кислорода в дымовых газах, а также потребность технологических процессов в тепловой энергии. См. также разделы 2.10, 2.15.2 и 3.1.3.

Экологические преимущества

Этот подход обеспечивает энергосбережение посредством ограничения расхода воздуха горения и оптимизации расхода топлива, что позволяет оптимизировать процесс сжигания и ограничить производство тепла реальными потребностями технологических процессов.

Кроме того, он может использоваться для минимизации образования NOx в процессе сжигания.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не ожидается.

Производственная информация

Необходим начальный период определения параметров регулирования, а также периодическая перекалибровка автоматизированной системы управления.

Применимость

Широко применяется.

Экономические аспекты

Экономически эффективный подход, сроки окупаемости зависят от особенностей конкретного объекта.

Мотивы внедрения

Снижение затрат на топливо.

Примеры

Данные не предоставлены.

Справочная информация

[227, TWG]

3.1.5. Выбор топлива

Общая характеристика

Выбор типа топлива определяет количество тепловой энергии, производимой на единицу топлива (см. введение к разделу 3.1 и раздел 1.3.6.2). Необходимое количество избыточного воздуха (см. раздел 3.1.3) также зависит от типа топлива – для твердого топлива оно выше. Поэтому при помощи выбора топлива можно обеспечить снижение расхода избыточного воздуха горения, а также повышение энергоэффективности (КПД) процесса сжигания. Как правило, чем выше теплота сгорания топлива, тем более эффективным является процесс сжигания.

Экологические преимущества

Энергосбережение за счет сокращения избытка воздуха горения и оптимизации использования топлива. При сжигании некоторых видов топлива образуется меньшее количество загрязняющих веществ (например, природный газ характеризуется крайне низким содержанием серы, наличие которой приводит к образованию SOx, а также отсутствием металлов); количество образующихся загрязняющих веществ зависит и от источника топлива. Более подробная информация по этому вопросу содержится в Справочных документах для тех отраслей, где выбор топлива существенно влияет на объемы и характеристики выбросов.

Выбор топлива с меньшей теплотой сгорания может быть обусловлен другими экологическими факторами, например (см. раздел 1.1.3):

- использованием топлива из устойчивых источников;
- целесообразностью сжигания (дожига) отходящих газов, использованием в качестве топлива твердых или жидких отходов;
- стремлением к минимизации других видов воздействия на окружающую среду, например, связанных с перевозками топлива.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Для различных видов топлива характерны выбросы различных загрязняющих веществ, например, сжигание угля приводит к выбросам твердых частиц, SOx и металлов. Информация по этому вопросу приводится в Справочных документах для тех отраслей, где выбор топлива существенно влияет на объемы и характеристики выбросов.

Производственная информация

Данные не предоставлены.

Применимость

Широко применяется при планировании строительства новых предприятий или существенной реконструкции существующих.

Для действующих предприятий возможности выбора топлива ограничены в силу особенностей установленного оборудования (например, ТЭС, рассчитанная на использование угля, не обязательно может быть легко переведена на использование природного газа). Ограничения могут быть связаны и с характером основной деятельности предприятия (например, мусоросжигательного завода).

На выбор топлива могут также влиять законодательные и другие нормативные требования, включая экологические требования местного и международного уровней.

Экономические аспекты

Как правило, затраты являются важнейшим фактором, определяющим выбор топлива.

Мотивы внедрения

- эффективность (КПД) процесса сжигания;
- сокращение выбросов загрязняющих веществ.

Примеры

- сжигание отходов как основная деятельность мусоросжигающих установок (сжигание отходов с утилизацией тепловой энергии);
- сжигание отходов в цементных печах;
- сжигание (дожиг) газообразных отходов производства, например, сжигание газообразных углеводородов на НПЗ или оксида углерода в цветной металлургии;
- производство тепловой или электрической энергии на основе биомассы.

Справочная информация

[227, TWG]

3.1.6. Кислородное сжигание

Общая характеристика

В качестве окислителя при сжигании вместо атмосферного воздуха используется кислород, производимый на самом предприятии или закупаемый у внешнего поставщика (последний вариант имеет место чаще).

Экологические преимущества

С данным методом связаны различные преимущества:

- повышенное содержание кислорода приводит к увеличению температуры сгорания и количества тепла, передаваемого технологическому процессу, что способствует уменьшению доли несгоревшего (неполностью сгоревшего) топлива и повышению КПД с одновременным сокращением выбросов NOx;
- поскольку атмосферный воздух на 80% состоит из азота, переход к кислородному сжиганию приводит к соответствующему сокращению массового расхода подаваемых и отходящих газов;
- тот же фактор способствует сокращению выбросов NOx, поскольку количество азота в камере существенно снижается;
- сокращение массового расхода дымовых газов может привести к снижению требуемой мощности газоочистных систем (например, пылеулавливающего оборудования или систем очистки дымовых газов от NOx, если необходимость в таких системах сохраняется) и соответствующего энергопотребления;
- при производстве кислорода на самом предприятии образующийся азот может быть использован в производственном процессе, например, для перемешивания жидкостей или создания нейтральной атмосферы там, где окислительная атмосфера может привести к нежелательным реакциям (например, пирофорным реакциям в цветной металлургии);

- в перспективе пониженный объем отходящих газов (и повышенная концентрация CO_2) может создать более благоприятные условия для улавливания и хранения CO_2, а также, возможно, снижения соответствующих энергозатрат.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Производство кислорода из атмосферного воздуха требует значительных энергозатрат, которые должны учитываться при любых энергетических расчетах (см. раздел 1.3.6.1).

В стекольной промышленности существует значительное разнообразие типов стекловаренных печей, видов стекла, а также уровней производительности. В некоторых условиях (например, по сравнению с регенеративными печами, в случае относительно небольших печей или при производстве специального стекла) переход к кислородному дутью может привести к повышению общего КПД процесса (с учетом энергозатрат на производство кислорода в пересчете на первичную энергию). Однако в других случаях энергозатраты на производство кислорода могут оказаться равными объемам энергосбережения за счет кислородного дутья или даже превысить их. Эта ситуация является типичной при сравнении общего КПД печей с кислородным дутьем с аналогичными характеристиками регенеративных печей с подковообразным пламенем (торцевыми горелками) при производстве больших объемов стеклянной тары. Ожидается, однако, что дальнейшее развитие технологии кислородного дутья в стекольной промышленности приведет к повышению КПД соответствующих печей. С финансовой точки зрения, затраты на закупку кислорода также не всегда окупаются за счет энергосбережения при эксплуатации печей.

Производственная информация

При использовании кислорода следует принимать во внимание дополнительные требования безопасности, поскольку с потоками чистого кислорода связан больший риск взрыва, чем с потоками обычного воздуха.

Необходимость дополнительных мер безопасности при использовании кислорода может быть связана и с тем, что кислородопроводы могут эксплуатироваться при очень низких температурах.

Применимость

Не является универсальным методом, широко применяемым во всех отраслях. В стекольной отрасли производители стремятся контролировать рабочую температуру в области горения стеклоплавильной печи, поддерживая ее на уровне, приемлемом для футеровки и одновременно обеспечивающем необходимое качество стекла. Как правило, переход на сжигание в кислородной атмосфере не означает повышения рабочей температуры печи (температуры футеровки или стекольной массы), но может способствовать улучшению условий теплопередачи. Кислородное сжигание требует более тщательного контроля рабочей температуры печи, но эта температура, как правило, не выше, чем в случае сжигания в атмосферном воздухе (лишь температура в сердцевине пламени может быть выше).

Экономические аспекты

Цены на кислород, закупаемый у внешних поставщиков, достаточно высоки, а собственное производство этого газа связано со значительным расходом электроэнергии. Капитальные затраты на установку воздухоразделительного оборудования также значительны и оказывают существенное влияние на экономическую эффективность сжигания в кислородной атмосфере.

Мотивы внедрения

Сокращение расхода дымовых газов позволяет устанавливать менее мощное газоочистное оборудование, в особенности установки по удалению оксидов азота. Однако эти соображения актуальны только для новых объектов, а также для тех существующих предприятий, где стоит вопрос об установке или замене газоочистного оборудования.

Примеры

Используется в стекольной отрасли и в рафинировании металлов (в Польше – совместно с использованием азота).

Справочная информация

[157, Beerkens R.G.C. , 2006]

3.1.7. Сокращение потерь тепла при помощи теплоизоляции

Общая характеристика

Потери тепла через стенки систем сжигания зависят от площади поверхностей и толщины теплоизоляции. Оптимальная толщина теплоизоляции, учитывающая соображения энергоэффективности и экономической эффективности, должна определяться в каждом конкретном случае.

Как правило, эффективная теплоизоляция, позволяющая свести потери тепла к минимуму, может быть обеспечена при строительстве предприятия или установке оборудования. Однако теплоизоляция может постепенно изнашиваться, что требует ее замены по итогам инспекций в рамках программ технического обслуживания. Для обнаружения зон нарушенной теплоизоляции могут использоваться детекторы инфракрасного излучения (тепловизоры). Обследование с помощью подобных устройств может производиться во время работы оборудования незадолго до остановки на плановое техническое обслуживание или ремонт.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использование теплоизоляционных материалов.

Производственная информация

Для своевременного обнаружения и устранения скрытых утечек необходимы регулярное техническое обслуживание и обследование систем. В системах отрицательного давления дефекты изоляции способны приводить к подсосу воздуха, что увеличивает нагрузку на вентиляторы и соответствующие энергозатраты.

Элементы систем, не имеющие надлежащей теплоизоляции, могут приводить не только к потерям тепла, но и к производственным травмам в тех условиях, когда:

- существует риск контакта персонала с соответствующими частями обрудования;
- температура частей превышает 50 °C.

Применимость

В любых ситуациях.

Экономические аспекты

Малозатратный метод, особенно если работы производятся во время плановых остановок оборудования. Целесообразно проводить ремонт и замену теплоизоляции во время ремонтных кампаний.

Мотивы внедрения

Поддержание надлежащей рабочей температуры.

Примеры

Ремонт теплоизоляции осуществляется во время ремонтных кампаний в черной металлургии и стекольной промышленности.

Справочная информация

[91, CEFIC, 2005]

3.1.8. Сокращение потерь тепла через отверстия печей

Общая характеристика

При эксплуатации печей возможны потери энергии с тепловым излучением через отверстия, используемые, в частности, для загрузки/выгрузки. Эта проблема особенно актуальна для печей, рабочая температура которых превышает 500 °C. Отверстия печей включают газоходы и трубы, смотровые окна, используемые для визуального контроля технологического процесса, двери печей, оставляемые частично открытыми при обработке негабаритных деталей, двери и другие отверстия, используемые для загрузки и выгрузки материалов, продукции и/или топлива и т.д.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Потери тепла через отверстия легко обнаруживаются при помощи тепловизора. Возможно свести к минимуму потери тепла через двери и смотровые окна печей посредством выбора оптимальных конструктивных решений.

Применимость

Данных не предоставлено.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[127, TWG, , 271, US_DOE, 2004]

3.2. Паровые системы

3.2.1. Общие свойства пара

Общая характеристика

Пар является одним из распространенных теплоносителей в тепловых системах с нагреваемым жидким или газообразным рабочим телом. К другим традиционно используемым теплоносителям относятся вода и термомасла. Вода может использоваться в тех случаях, когда рабочие температуры не превышают 100°C. Однако вода под высоким давлением, характеризующаяся более высокой температурой кипения, может использоваться при рабочих температурах выше 100°C, в некоторых случаях превышающих 180°C. Термомасла отличаются более высокой температурой кипения (и специально разработаны для длительных сроков службы). Однако они, как правило, имеют меньшую удельную теплоемкость и коэффициент теплопроводности, чем вода. Водяной пар имеет ряд преимуществ, перечисленных ниже, и может использоваться в разнообразных системах, подразумевающих непосредственный контакт теплоносителя с различными элементами оборудования.

Преимущества пара включают низкую токсичность, безопасность использования с легковоспламеняющимися и взрывоопасными материалами, простоту перемещения, высокую эффективность, высокую теплоту конденсации, а также низкую стоимость теплоносителя по сравнению с термомаслами. Пар отличается высокой теплотой конденсации на единицу массы (2300-2900 кДж/кг); эта теплота может быть преобразована в механическую энергию при помощи

турбины или использована для нагрева в различных технологических процессах. Поскольку большая часть энергии пара имеет форму скрытого тепла (теплоты испарения), значительные количества пара могут эффективно передаваться при практически постоянной температуре, что облегчает подведение энергии ко многим технологическим процессам (см. раздел 1.2.2.4). Особенности пара и его использования подробно обсуждаются также в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам.

Переход воды в газообразное состояние требует значительной энергии, которая преобразуется в скрытое тепло пара. Это позволяет добиться значительно более интенсивной теплоотдачи, чем при использовании в качестве теплоносителя воды или термомасел:

- вода – 4000 Вт/м^2·°C;
- термомасло – 1500 Вт/м^2·°C;
- водяной пар – >10000 Вт/м^2·°C.

Поскольку граница раздела жидкой и газообразной фаз (кривая двухфазного равновесия) представлена на фазовой диаграмме воды практически прямой линией (см. рис. 1.5), существует непосредственная зависимость между температурой получаемого пара и давлением. Это позволяет легко обеспечить необходимую температуру пара, меняя давление. Использование пара высокого или низкого давления накладывает определенные требования на различные характеристики установки (см. «Производственная информация» ниже). Поэтому необходимо тщательно выбирать давление пара для проектируемой установки с тем, чтобы достичь оптимального соотношения между надежностью и энергоэффективностью.

Многочисленные преимущества пара обусловили значительную долю энергии, расходуемой на производство пара, в общем энергопотреблении промышленности. Например, в 1994 г. промышленность 15 стран ЕС использовала около 5988 ПДж энергии пара, что составило примерно 34% общего количества энергии, использованного при производстве промышленной продукции. Соответствующие соотношения для некоторых отраслей промышленности представлены в табл. 3.5.

Отрасль	Затраты энергии на производство пара (ПДж)	Доля в общем энергопотреблении отрасли
Целлюлозно-бумажная	2318	83%
Химическая	1957	57%
Нефтепереработка	1449	42%

Таблица 3.5: Использование энергии для производства пара в различных отраслях промышленности

Экологические преимущества

Пар сам по себе не является токсичным.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- производство пара связано с традиционными воздействиями, характерными для сжигания топлива;
- в случае подготовки питательной воды котла возможно поступление в окружающую среду химических веществ, используемых для очистки или деионизации воды;
- отходящий пар или сбрасываемый горячий конденсат могут приводить к повышению температуры в принимающих канализационных системах или водных объектах.

Производственная информация

Как правило, паровая система состоит из четырех основных компонентов: парогенератора (котла), распределительной системы (паропроводов или конденсатопроводов), потребителя или конечного пользователя (установки или технологического процесса, использующих пар или тепло), а также системы сбора конденсата. Эффективное производство и распределение пара, а также надлежащая эксплуатация и техническое обслуживание паровой системы способны внести значительный вклад в сокращение потерь тепла, как описано ниже:

- производство пара (см. раздел 3.1 «Сжигание»): пар производится в котле или теплоутилизационном парогенераторе посредством передачи тепла от горячих газов, образовавшихся при сгорании топлива, к воде. Когда вода получает достаточное количество тепла, происходит фазовый переход из жидкого в газообразное состояние. В некоторых котлах для дополнительного увеличения содержания тепла в паре применяется пароперегреватель. Под давлением пар поступает из котла или парогенератора в распределительную систему;
- распределение: распределительная система обеспечивает подачу пара от котла или парогенератора к месту конечного использования. Многие распределительные системы имеют несколько паропроводов, по которым подается пар различного давления. Эти подсистемы разделяются различными элементами трубопроводной арматуры – запорными клапанами, редукционными клапанами и, в некоторых случаях, турбодетандерами. Обеспечение энергоэффективности паровой системы требует надлежащего баланса давления пара, организации сбора конденсата, адекватной теплоизоляции и эффективного регулирования давления.

Использование пара высокого давления имеет следующие преимущества:

- более высокая температура насыщенного пара;
- меньший объем пара, что позволяет использовать паропроводы меньшего диаметра;
- если потребителям подается пар высокого давления, его давление может снижаться перед использованием;
- более высокое давление обеспечивает более стабильные условия парообразования в котле.

Пар низкого давления характеризуется следующими преимуществами:

- меньшие потери энергии при производстве пара и в распределительной системе;
- меньшее содержание остаточного тепла в конденсате (см. разделы 3.2.14 и 3.2.15);
- меньшие потери, связанные с утечками в паропроводах;
- менее интенсивное образование накипи.

В силу того, что для паровых систем характерно высокое рабочее давление, обеспечение безопасности является крайне важным аспектом эксплуатации таких систем. Кроме того, в паровых системах могут иметь место гидравлические удары и различные виды коррозии. Как следствие, надежность и срок службы различных компонентов существенно зависят от конструкции системы, качества монтажа и технического обслуживания.

- конечное использование: существует множество типов конечного использования энергии пара, например:
    - преобразование в механическую энергию: приведение в движение турбин, насосов, компрессоров и т.д. Как правило, речь идет о крупном оборудовании – генераторах электроэнергии, крупных компрессорах и т.п.;
    - нагрев: подведение тепла к технологическим процессам, сушка разнообразной бумажной продукции;
    - использование в химических реакциях: создание требуемых условий для реакций и регулирование их хода, ректификация углеводородных смесей, источник водорода в паровом риформинге метана.

Традиционное конечное оборудование паровых систем, в котором происходит использование энергии пара, включает теплообменники, турбины, ректификационные колонны, колонны отпарки, а также химические реакторы.

Вопросы, связанные с использованием пара в электроэнергетике, обсуждаются в Справочном документе по крупным топливосжигающим предприятиям; вопросы когенерации и тригенерации обсуждаются в разделах 3.4 и 3.4.2 настоящего документа соответственно.

В случае подведения тепла к технологическому процессу пар с помощью теплообменника передает используемому в процессе веществу энергию, в основном теплоту конденсации. Пар удерживается в теплообменнике до конденсации, после чего конденсат отводится в систему возврата с помощью конденсатоотводчика. В турбине энергия пара преобразуется в механическую энергию, приводя в движение машины вращательного или возвратно-поступательного действия, например, насосы, компрессоры или электрогенераторы. В ректификационных колоннах пар используется для разделения жидкостей на различные компоненты. Кроме того, пар может применяться для отпарки примесей из различных веществ. Наконец, пар используется в некоторых химических реакциях в качестве источника воды.

- сбор и возврат конденсата: после того, как теплота конденсации пара передана технологическому процессу или использована, вода (конденсат) возвращается в котел при помощи системы сбора и возврата конденсата. Сначала конденсат собирается в специальном резервуаре, откуда он при помощи насоса подается в деаэратор, где из конденсата удаляются неконденсируемые газы. В резервуаре для сбора конденсата или деаэраторе к конденсату могут быть добавлены подпиточная вода и необходимые химические вещества. Питательные насосы увеличивают давление воды до уровня, превышающего рабочее давление в котле, и подают ее в котел, тем самым завершая цикл;
- расчет КПД паровых котлов: общеевропейский консенсус по данному вопросу отражен в документах CEN EN 12952-15:2003 (водотрубные котлы и вспомогательные устройства: приемочные испытания) и CEN EN 12953-11:2003 (жаротрубные котлы: приемочные испытания).

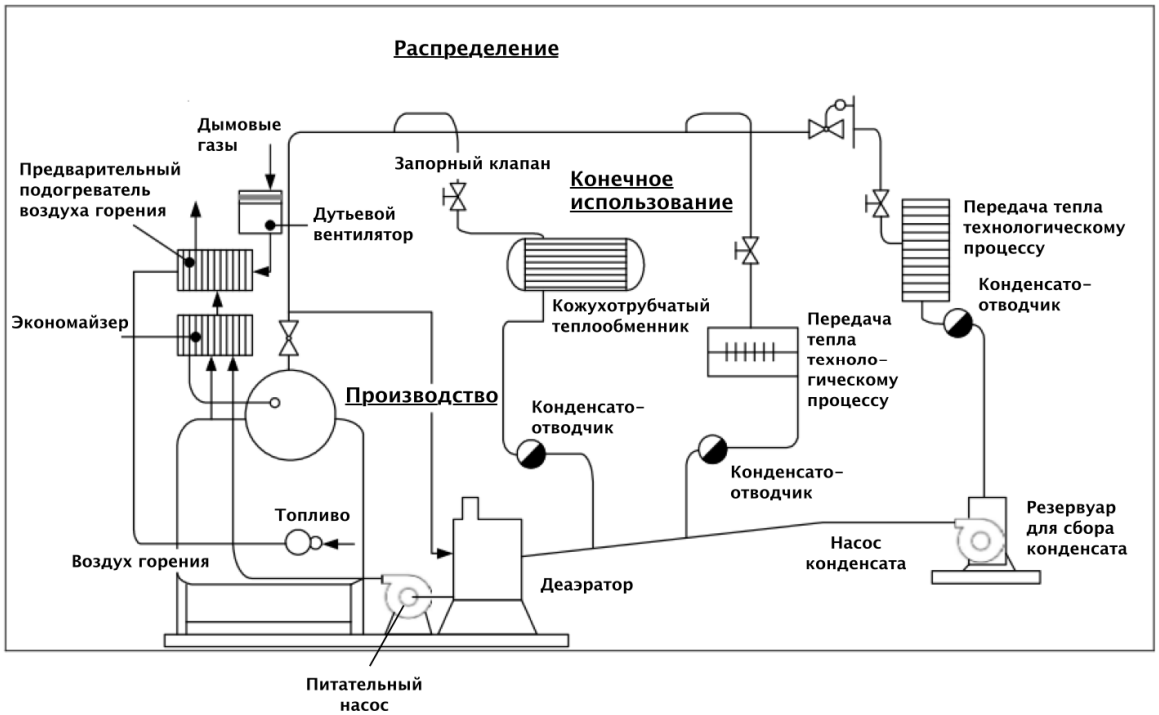


Рисунок 3.5: Типичная система производства и распределения пара

[123, US_DOE]

Применимость

Широко применяется.

Экономические аспекты

Затраты на производство пара непосредственно зависят от цен на используемое топливо; ценовые преимущества, связанные с определенным видом топлива, могут перевесить такие факторы, как относительно низкий тепловой КПД при его применении. Однако при использовании любого конкретного вида топлива повышение теплового КПД является важным ресурсом энергосбережения (см. раздел 3.1 «Сжигание»).

Устранение потерь энергии в процессе производства и распределения пара (включая возврат конденсата) способно значительно снизить стоимость пара на уровне конечного пользователя.

Потенциальные объемы энергосбережения для конкретных предприятий могут варьировать в диапазоне от менее 1% до 35 %, средняя величина составляет 7 %.

Мотивы внедрения

- снижение затрат на энергоресурсы, сокращение выбросов, быстрая окупаемость;
- использование пара: простота и гибкость использования, низкая токсичность, возможность подведения к технологическому процессу значительного количества энергии.

Примеры

Широко применяется во многих секторах КПКЗ, включая электроэнергетику, все виды химической промышленности, целлюлозно-бумажную промышленность и пищевую промышленность, в частности, производство напитков и молока.

Справочная информация

[32, ADENE, 2005, 33, ADENE, 2005, 123, US_DOE, , 125, EIPPCB, , 236, Fernández- Ramos, 2007]

3.2.2. Обзор методов повышения энергоэффективности паровых систем

Паровые системы подробно описаны в Справочном документе по крупным топливосжигающим предприятиям (LCP BREF). Для удобства читателя в этом разделе приведена сводка методов повышения энергоэффективности паровых систем, рекомендуемых как LCP BREF[31], так и настоящим документом. Возможные методы повышения энергоэффективности на этапах производства и распределения пара, а также сбора и возврата конденсата приведены в табл. 3.6.

Технические методы для отраслей и видов деятельности, в которых применение паровых систем не охвачено соответствующими отраслевыми Справочными документами		
Методы, предлагаемые в настоящем документе, с указанием разделов		
Метод	**Преимущества**	**Раздел**
Проектирование и конструктивные решения		
Энергоэффективное проектирование и монтаж парораспределительной сети	Оптимизация энергосбережения	2.3
Дросселирование и использование турбодетандеров. (Использование турбодетандеров вместо традиционных дросселей и редукционных клапанов)	Более энергоэффективный метод снижения давления пара при наличии потребности в паре низкого давления	3.2.3
Эксплуатация и управление технологическим процессом		
Совершенствование эксплуатационных процедур и методов управления технологическим процессом	Оптимизация энергосбережения	3.2.4
Каскадное управление группой котлов (при наличии нескольких котлов на предприятии)	Оптимизация энергосбережения	3.2.4

[31] Ссылки приводятся согласно версии LCP BREF от июля 2006 г.

Установка отсекающих заслонок на газоходах дымовых газов (при наличии нескольких котлов, использующих одну и ту же дымовую трубу)	Оптимизация энергосбережения	3.2.4
Производство пара		
Предварительный подогрев питательной воды с помощью: • отходящего тепла, например, от других технологических процессов; • экономайзера, использующего дымовые газы; • подогрева конденсата за счет деаэрированной питательной воды; • конденсации пара, использованного для деаэрации, и подогрева поступающей в деаэратор воды при помощи теплообменника.	Утилизация тепла дымовых газов и возвращение его в производственный процесс посредством подогрева питательной воды	3.2.5 3.1.1
Предотвращение образования и удаление отложений накипи с теплообменных поверхностей. (Очистка теплообменных поверхностей котла)	Более эффективная передача тепла от продуктов горения к пароводяной смеси в котлах	3.2.6
Минимизация величины продувки котла посредством улучшения водоподготовки. Установка автоматизированной системы контроля общего содержания растворенных твердых веществ	Снижение общего содержания растворенных твердых веществ в питательной воде, что позволяет сократить величину продувки и потери энергии	3.2.7
Установка/восстановление футеровки котла	Снижение потерь тепла от котла, повышение (восстановление) КПД	2.10.1 2.9
Оптимизация расхода пара в деаэраторе	Минимизация непроизводительных потерь пара	3.2.8
Минимизация потерь, связанных с работой короткими циклами	Оптимизация энергосбережения	3.2.9
Техническое обслуживание котлов		2.9
Распределение		
Оптимизация пароraспределительной системы (в особенности, в отношении вопросов, перечисленных ниже)		2.9, 3.2.10
Отключение неиспользуемых паропроводов	Минимизация непроизводительных потерь пара, а также потерь энергии от паропроводов и поверхностей оборудования	3.2.10
Теплоизоляция паропроводов и конденсатопроводов (включая фитинги, клапаны и резервуары)	Снижение потерь энергии от паропроводов и поверхностей оборудования	3.2.11
Реализация программы контроля состояния кондесатооводчиков и их ремонта	Сокращение объемов пара, проникающего в систему возврата конденсата, содействие эффективному функционированию теплообменного оборудования на стороне конечного потребителя. Минимизация потерь пара.	3.2.12
Утилизация и повторное использование		
Сбор конденсата и возврат в котел для повторного использования. (Оптимизация использования конденсата)	Утилизация тепловой энергии конденсата и сокращение объемов подпиточной воды, что позволяет снизить затраты энергии и конденсата на водоподготовку	3.2.14
Повторное использование выпара. (Использование конденсата высокого давления для производства пара низкого давления)	Утилизация энергии возвратного конденсата	3.2.14
Утилизация энергии продувочной воды котла	Возврат тепловой энергии продувочной воды в систему, что позволяет снизить потери	3.2.15

Технические методы для отраслей и видов деятельности, в которых применение паровых систем не охвачено соответствующими отраслевыми Справочными документами				
Методы, описываемые в LCP BREF (июль 2006 г.), по видам топлива, с указанием разделов				
Метод	**Раздел**			
	Каменный и бурый уголь	Биомасса и торф	Жидкое топливо	Газообразное топливо
Использование турбодетандеров для утилизации энергии сжатого газа				7.4.1, 7.5.1
Замена лопаток турбин	4.4.3	5.4.4	6.4.2	
Использование высокотехнологичных материалов для достижения повышенных параметров пара	4.4.3		6.4.2	7.4.2
Суперсверхкритические параметры пара	4.4.3, 4.5.5		6.4.2	7.1.4
Промежуточный перегрев пара	4.4.3, 4.5.5		6.4.2, 6.5.3.1	7.1.4, 7.4.2, 7.5.2
Регенеративный подогрев питательной воды	4.2.3, 4.4.3	5.4.4	6.4.2	7.4.2
Использование тепла дымовых газов для централизованного теплоснабжения	4.4.3			
Аккумуляция тепла			6.4.2	7.4.2
Управление газовой турбиной и последующими теплоутилизационными котлами с помощью усовершенствованной АСУ ТП				7.4.2

Таблица 3.6: Общие методы повышения энергоэффективности промышленных паровых систем

Подготовлено и адаптировано на основе [123, US_DOE]

В большинстве случаев пар производится на промышленных предприятиях за счет сжигания топлива, поэтому неизбежно некоторое перекрытие мер по повышению энергоэффективности при сжигании и при использовании пара, что отражено и в табл. 3.6. Методы, специфичные для использования пара, обсуждаются ниже в этом разделе.

Необходимым условием реализации любых подобных мер является наличие достоверной количественной информации о расходе топлива, производстве пара и функционировании парораспределительной системы. Измерение и мониторинг соответствующих параметров наряду с определением допустимого диапазона вариации характеристик технологического процесса вносят существенный вклад в понимание процесса и являются важной предпосылкой, например, успешной интеграции рекуперации тепла в этот процесс (см. раздел 2.10).

3.2.3. Дросселирование и использование турбодетандеров

Общая характеристика

Дросселирование широко применяется в промышленности как средство регулирования и понижения давления пара. Как правило, оно осуществляется при помощи дросселей и редукционных клапанов. Поскольку процесс дросселирования является изоэнтальпийным (т.е., энтальпия в процессе не изменяется), он не сопровождается потерями энергии и, с точки зрения первого закона термодинамики, имеет наибольший возможный КПД. Однако дросселирвание с неизбежностью является необратимым термодинамическим процессом, и снижение давления сопровождается увеличением энтропии без какой-либо полезной работы. Как следствие, при дросселировании теряется эксергия, и рабочее тело после снижения давления характеризуется меньшим содержанием энергии, пригодной для полезного использования, например, в паровой турбине.

Поэтому при необходимости снизить давление рабочего тела желательно приблизить процесс к изоэнтропийному, получив дополнительную полезную работу при помощи турбины. Если это

оказывается невозможным, следует во всех случаях использовать настолько низкое рабочее давление в системе, насколько это возможно, чтобы избежать значительных перепадов давления, потерь энергии на клапанах и измерительных приборах (см. раздел 2.10.4), а также дополнительных энергозатрат, связанных с функционированием компрессоров и насосов.

Обычной практикой на промышленных предприятиях является поддержание на входе турбины постоянного давления, соответствующего проектному уровню. Как правило, это требует регулирования давления при помощи клапанов, что не всегда является рациональным. С точки зрения второго закона термодинамики, более эффективной является эксплуатация турбины при переменном давлении и полностью открытыми входными клапанами.

Общей рекомендацией является использование настолько больших клапанов, насколько это возможно. В этом случае удовлетворительное дросселирование может быть достигнуто при перепаде давления 5–10% при максимальном расходе рабочего тела, в отличие от перепада 25–50% при использовании традиционных клапанов, размер которых является слишком малым. Размеры насосов, обеспечивающих давление рабочего тела, также должны быть подобраны с учетом конкретных условий и их возможных вариаций.

Тем не менее, наилучшим вариантом является использование турбодетандера, позволяющего осуществить «утилизацию» избыточного давления в условиях, приближенных к изоэнтропийному, термодинамически обратимому процессу. Турбина может использоваться для производства электроэнергии.

Экологические преимущества

Сокращение потерь эксергии.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Увеличение расхода топлива.

Производственная информация

См. примеры в приложении 7.2.

Применимость

Применяется на новых или существенно модернизируемых установках с учетом экономических соображений и следующих факторов:

- турбодетандеры могут использоваться для производства электроэнергии или в качестве источника механической энергии – для приведения в движение компрессора или вентилятора. Хотя использование турбодетандеров является оптимальным с точки зрения энергоэффективности, следует соотносить их предполагаемую потребность в паре с общим «паровым балансом» предприятия. Чрезмерное количество или мощность турбодетандеров могут привести к производству избыточного пара низкого давления, который придется стравливать в атмосферу, что, в свою очередь, приведет к снижению энергоэффективности. Кроме того, поток пара, необходимый для функционирования турбодетандера, должен быть доступен предсказуемым образом на протяжении значительной части времени. Непредсказуемое или нерегулярное поступление пара затрудняет нахождение полезного применения для энергии, производимой турбиной (за исключением тех маловероятных случаев, когда периоды поступления пара всегда совпадают с периодами потребностей в энергии турбины);
- эффективное применение турбодетандеров требует значительного перепада давления, а также высокого расхода рабочего тела. В черной металлургии турбодетандерами оборудуются доменные печи, поскольку в процессе плавки образуется мощный поток доменного газа.

Экономические аспекты

Капитальные затраты на установку турбодетандера на несколько порядков величины превышают стоимость обычных дросселей и редукционных клапанов. Поэтому при принятии решения об установке турбодетандера необходимо оценить его минимальную производительность, обеспечивающую окупаемость инвестиций, и соотнести ее с общим паровым балансом

предприятия. При низких массовых расходах рабочего тела использование турбодетандера экономически неэффективно. Для успешной интеграции в системы предприятия турбодетандер должен на протяжении значительной части времени обеспечивать надежное, стабильное производство энергии, соответствующее существующим потребностям.

Мотивы внедрения

При целесообразности применения турбодетандеров– снижение затрат на производство энергии.

Примеры

См. приложение 7.2.

Справочная информация

[6, Cefic, 2005, 123, US_DOE]

3.2.4. Методы эксплуатации и управления технологическим процессом

Общая характеристика

Оптимизация эксплуатационных процедур и управления технологическим процессом

Пример модели, используемой для оптимизации системы производства пара, приведен на рис. 3.6. Этот подход к оптимизации описан в разделе 2.15.2.

Каскадное управление группой котлов

Если на предприятии имеется несколько котлов, целесообразно проанализировать потребности в паре и выработать такой режим управления, который позволил бы оптимизировать энергозатраты, избежать работы короткими циклами и т.п.

Установка отсекающих заслонок на газоходах дымовых газов (целесообразно только в тех случаях, когда два или более котлов используют одну и ту же дымовую трубу).

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Установка более чем одного котла может быть средством оптимизации энергозатрат при варьирующей потребности производства в паре. Котлы могут быть разных типов и иметь различные характеристики в зависимости от динамики потребностей, длительности производственных циклов и т.п.

Возможности для каскадного управления группой котлов могут быть ограничены в том случае, когда доступность пара должна быть гарантирована с высокой степенью надежности.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[123, US_DOE, 134, Amalfi, 2006, 179, Stijns, 2005]

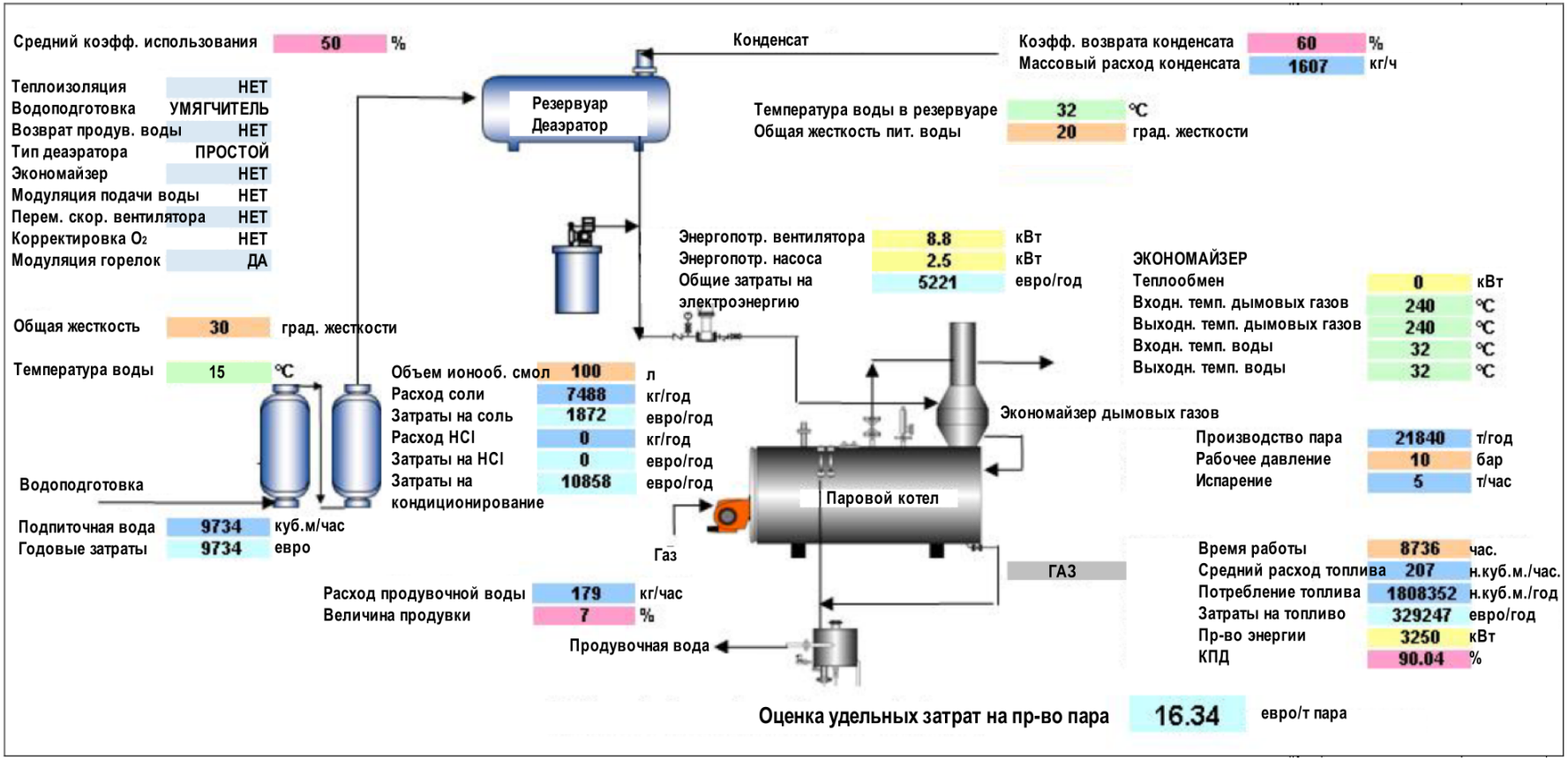


Рисунок 3.6: Современная система управления, обеспечивающая оптимизацию работы котла

3.2.5. Предварительный подогрев питательной воды (в т.ч. с помощью экономайзера)

Общая характеристика

Как правило, вода, подаваемая в котел из деаэратора, имеет температуру 105 °C. Вода, находящаяся внутри котла, имеет более высокие давление и температуру. Поступающая в котел вода состоит из возвратного конденсата, а также подпиточной воды для восполнения потерь. Возможна утилизация тепла посредством предварительного подогрева питательной воды, что позволяет снизить затраты топлива.

Предварительный подогрев может быть организован четырьмя способами:

- с использованием отходящего тепла (например, от какого-либо технологического процесса): питательная вода может подогреваться за счет имеющегося потока отходящего тепла, например, с использованием водо-водяного теплообменника;
- с использованием экономайзера: экономайзер ((1) на рис. 3.7) представляет собой теплообменник, позволяющий снизить расход топлива за счет передачи тепла дымовых газов питательной воде, поступающей в котел;
- с использованием деаэрированной питательной воды: в дополнение к перечисленным методам, возможен предварительный подогрев конденсата, поступающего в деаэратор((2) на рис. 3.7)), за счет тепла деаэрированной воды. Питательная вода, поступающая из резервуара для сбора конденсата ((3) на рис. 3.7)), имеет меньшую температуру, чем вода, уже прошедшая деаэрацию. С помощью теплообменника можно организовать передачу части тепла от деаэрированной питательной воды конденсату, поступающему в деаэратор. Как следствие, температура деаэрированной питательной воды, поступающей в экономайзер ((1) на рис. 3.7), оказывается ниже. Это способствует более эффективному использованию тепла дымовых газов и снижению их температуры, поскольку теплопередача происходит при большей разнице температур. Одновременно это позволяет снизить расход пара на деаэрацию, поскольку температура поступающего в деаэратор конденсата оказывается выше;

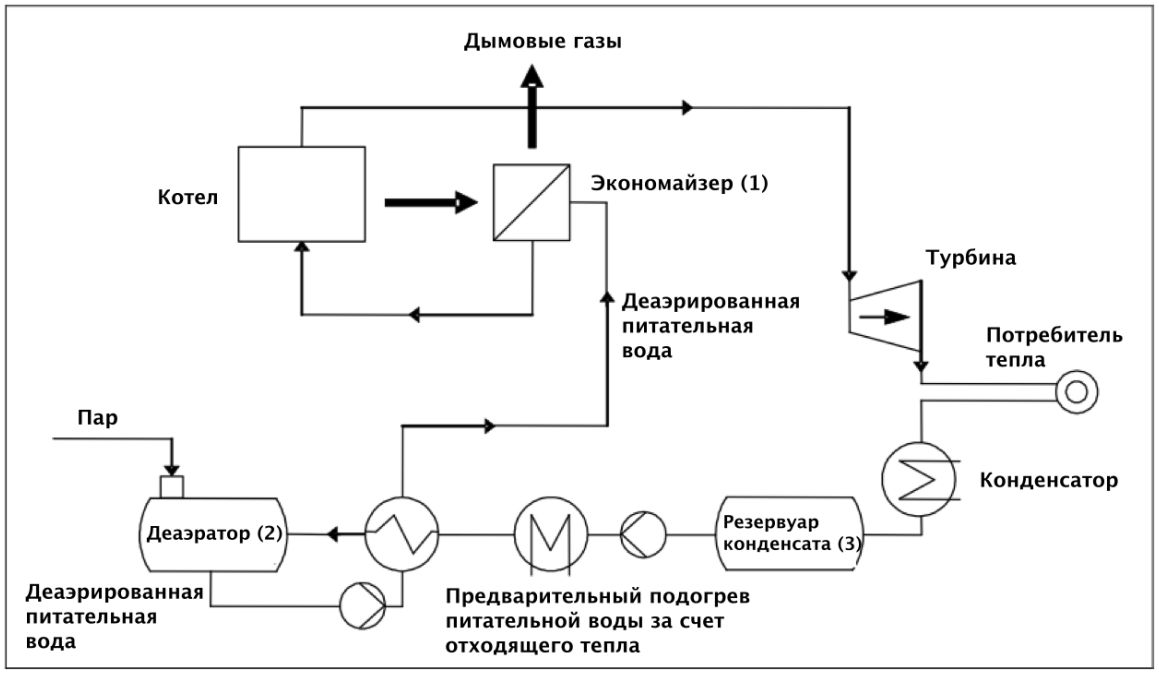


Рисунок 3.7: Предварительный подогрев питательной воды

[28, Berger, 2005]

- посредством установки теплообменника на входе в деаэратор с целью предварительного подогрева поступающей питательной воды за счет конденсации пара, используемого для деаэрации (дополнительная информация о процессе деаэрации приведена в разделе 3.2.8).

Перечисленные меры могут способствовать общему повышению энергоэффективности (КПД), т.е., снижению расхода топлива на получение определенного количества пара.

Экологические преимущества

Объемы энергосбережения, которые могут быть достигнуты за счет этих мер, зависят от температуры дымовых газов (или технологического процесса, тепло которого используется для подогрева), выбора теплообменных поверхностей и, в значительной степени, от давления пара.

Согласно широко распространенному представлению, использование экономайзера способно повысить КПД производства пара на 4 %. Для обеспечения непрерывной работы экономайзера следует регулировать подачу воды.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

К возможным недостаткам указанных четырех методов относится то, что их реализация требует дополнительного пространства для установки оборудования, а возможности для их использования сокращаются по мере увеличения сложности технологических процессов.

Производственная информация

Согласно данным производителей, широко применяются экономайзеры с номинальной мощностью 0,5 МВт. Экономайзеры с ребристыми трубами могут иметь номинальную мощность до 2 МВт и более. В случае номинальной мощности более 2 МВт, около 80 % поставляемых водотрубных котлов оборудованы экономайзерами, поскольку из применение окупается даже при односменной работе (при загрузке системы 60 - 70%).

Как правило, температура дымовых газов превышает температуру насыщенного пара примерно на 70 ºC. Для типичных промышленных паровых котлов температура дымовых газов составляет 180 °C. Нижний предел температуры этих газов определяется соответствующей кислотной точкой росы, которая зависит от используемого топлива и, в частности, от содержания в нем серы. Эта величина составляет примерно 160 °C для тяжелого мазута, 130 °C для легкого мазута, 100 °C для природного газа и 110 ºC для твердых отходов. В котлах, использующих в качестве теплоносителя термомасла, имеет место более интенсивная коррозия, и конструкция экономайзера должна предусматривать возможность замены соответствующих деталей. Коррозия деталей экономайзера усиливается, если температура дымовых газов падает существенно ниже кислотной точки росы, что может иметь место в случае значительного содержания серы в топливе.

Если температура газов в дымовой трубе оказывается ниже кислотной точки росы, в отсутствие специальных мер это приводит к образованию отложений сажи в трубе. Как следствие, экономайзеры часто оборудуют обводным газоходом, позволяющим пустить часть дымовых газов в обход экономайзера в случае недопустимого снижения температуры газов в трубе.

Как правило, каждые 20–40 ºC снижения температуры дымовых газов соответствуют повышению КПД системы примерно на 1%. Это означает, что, в зависимости от температуры газа и перепада температур на входе и выходе теплообменника, можно достичь повышения КПД на величину до 6-7%. Как правило, температура питательной воды, прошедшей через экономайзер, увеличивается со 103 до примерно 140 °C.

Применимость

На некоторых существующих предприятиях организация предварительного подогрева питательной воды сопряжена со значительными трудностями. Системы предварительного подогрева конденсата за счет тепла деаэрированной воды на практике применяются редко.

На предприятиях с высокой мощностью парогенерирующих систем подогрев питательной воды при помощи экономайзера является стандартной практикой. Однако и в этой ситуации возможно добиться повышения КПД на величину до 1% посредством увеличения разницы температур. Использование отходящего тепла других технологических процессов также является реалистичным вариантом для большинства предприятий. Потенциал для эффективного

применения этого метода существует и на предприятиях с относительно невысокой мощностью парогенерирующих систем.

Экономические аспекты

Потенциал энергосбережения в результате организации предварительного подогрева питательной воды с помощью экономайзера зависит от ряда факторов, включая потребности конкретного производства, состояние дымовой трубы и характеристики дымовых газов. Окупаемость соответствующих инвестиций в условиях конкретной паровой системы зависит также от времени работы системы, фактических цен на топливо и географического положения предприятия.

На практике потенциал энергосбережения в результате предварительного подогрева питательной воды достигает нескольких процентов от общей энергии производимого пара. Поэтому даже для небольших котлов возможно достичь энергосбережения в объеме нескольких гигаватт-часов в год. Например, для котла мощностью 15 МВт можно достичь экономии в объеме примерно 5 ГВт·ч/г, экономического эффекта в размере около 60 тыс. евро в год и сокращения выбросов CO2 примерно на 1 тыс. т/год. Поскольку результаты пропорциональны масштабам установки, крупные предприятия могут добиться большего эффекта.

Во многих случаях температура дымовых газов, поступающих их котла в трубу, превышает температуру производимого пара на 100-150ºC. Как правило, снижение температуры дымовых газов на каждые 20-40ºC позволяет повысить КПД котла на 1%. За счет утилизации отходящего тепла экономайзер во многих случаях может обеспечить сокращение расхода топлива на 5-10% и обеспечить собственную окупаемость менее чем за два года. Потенциал энергосбережения за счет снижения температуры дымовых газов продемонстрирован в табл. 3.7.

Примерный потенциал утилизации тепла дымовых газов котла				
Исходная температура дымовых газов, ºC	Утилизируемое тепло, **(кВт)**			
	Тепловая мощность котла (кВт)			
	7322	**14640**	**29290**	**58550**
205	381	762	1552	3105
260	674	1347	2694	5389
315	967	1904	3807	7644

Таблица 3.7: В предположении использования природного газа в качестве топлива, 15% избытка воздуха и конечной температуры дымовых газов 120°C

Адаптировано из [123, US_DOE]

Мотивы внедрения

Сокращение затрат на энергию и выбросов CO_2.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[16, CIPEC, 2002, 26, Neisecke, 2003, 28, Berger, 2005, 29, Maes, 2005, 123, US_DOE]

3.2.6. Предотвращение образования и удаление накипи с поверхностей теплообмена

Общая характеристика

На теплообменных поверхностях котлов и трубок теплообменников могут образовываться отложения накипи. Накипь возникает вследствие образования нерастворимых соединений в результате реакции между соединениями, растворенными в воде; эти соединения откладываются на теплообменных поверхностях, омываемых водой.

Проблемой, связанной с образованием накипи, является то, что теплопроводность последней, как правило, на порядок ниже, чем теплопроводность стали. При образовании на теплообменных поверхностях отложений определенного химического состава, коэффициент теплопередачи поверхностей уменьшается с ростом толщины отложений. Поэтому даже незначительные отложения могут действовать в качестве эффективного теплоизолятора, способствуя существенному снижению теплообмена. Результатом этого может быть перегрев трубок котла или теплообменника, возможно, приводящий к их повреждению, а также снижение общего КПД системы. Своевременно удаляя накипь, предприятие может легко добиться снижения затрат на энергию и, как следствие, сокращения общих эксплуатационных затрат.

Дополнительный расход топлива в результате образования накипи может достигать 2% для водотрубных котлов и 5% для жаротрубных котлов.

На уровне отдельного котла регулярное удаление накипи может обеспечить значительное энергосбережение.

Экологические преимущества

Снижение потерь энергии.

В табл. 3.8 представлено снижение коэффициента теплопередачи в зависимости от толщины слоя накипи на теплообменной поверхности:

Толщина слоя накипи (мм)	Снижение коэффициента теплопередачи[32], (%)
0,1	1,0
0,3	2,9
0,5	4,7
1	9,0

Таблица 3.8: Снижение коэффициента теплопередачи в зависимости от толщины слоя накипи

[29, Maes, 2005]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Подготовка питательной воды с целью предотвращения образования накипи может приводить к увеличению расхода специализированных реагентов.

Производственная информация

Удаление отложений накипи производится во время остановки котла.

Существуют различные методы удаления отложений накипи и предотвращения их образования:

- эксплуатация котла при более низком давлении означает и более низкую температуру, при которой происходит менее интенсивное образование накипи. Эта одна из причин, по которым рекомендуется использовать пар настолько низкого давления, насколько это возможно (см. раздел 3.2.1);
- отложения могут удаляться во время технического обслуживания котла как механическим, так и химическим (кислотным) способом;
- если накипь образуется слишком быстро, целесообразно проанализировать и пересмотреть методы водоподготовки. Может быть необходима более качественная очистка воды или использование дополнительных добавок.

[32] Значения приводятся для котла со стальными трубами. Рассматривается передача тепла от дымовых газов питательной воде. При расчетах предполагалось, что состав накипи во всех случаях является одним и тем же.

Косвенным показателем наличия отложений накипи является температура дымовых газов. Повышение температуры дымовых газов (при постоянных нагрузке котла и избытке воздуха горения) с большой вероятностью свидетельствует об образовании накипи.

Применимость

Наличие отложений накипи обнаруживается посредством простого визуального осмотра во время технического обслуживания. Как правило, для котлов высокого давления (50 бар) соответствующий осмотр и удаление накипи целесообразно производить несколько раз в год. Для устройств низкого давления (2 бар) рекомендуется ежегодное техническое обслуживание.

Возможно предотвратить образование накипи посредством улучшения качества воды (например, перейдя к использованию более мягкой или деминерализованной воды). Целесообразность химического (кислотного) удаления накипи необходимо тщательно оценивать, в особенности, в случае котлов высокого давления.

Экономические аспекты

Зависят от используемых методов и других факторов, в частности, химического состава сырой питательной воды, типа котла и т.д. Окупаемость соответствующих затрат достигается за счет экономии топлива, повышения надежности паровых систем и увеличения срока службы котлоагрегатов (что позволяет сократить время простоев и снизить капитальные затраты).

См. примеры в приложении 7.10.1.

Мотивы внедрения

Повышение надежности паровых систем и увеличение срока службы котлоагрегатов.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[16, CIPEC, 2002, 29, Maes, 2005, 123, US_DOE]

3.2.7. Оптимизация продувки котла

Общая характеристика

Сведение к минимуму величины продувки котла способно значительно сократить потери энергии, поскольку температура продувочной воды непосредственно связана с температурой пара, производимого в котле.

При испарении воды в котле остаются растворенные твердые примеси, что приводит к росту общего содержания растворенных твердых веществ внутри котла. Эти вещества могут выпадать из раствора с образованием отложений, затрудняющих теплопередачу (см. раздел 3.2.6). Кроме того, повышенное содержание растворенных веществ способствует пенообразованию и уносу котловой воды с паром.

С целью поддержания концентрации взвешенных и растворенных твердых веществ в установленных пределах используются две процедуры, каждая из которых может осуществляться как в автоматическом режиме, так и вручную:

- нижняя продувка производится с целью удаления примесей из нижних частей котла с целью поддержания приемлемых характеристик теплообмена. Как правило, эта процедура выполняется вручную в периодическом режиме (несколько секунд каждые несколько часов);
- верхняя продувка предназначена для удаления растворенных примесей, скапливающихся у поверхности воды, и, как правило, представляет собой непрерывный процесс, выполняемый в автоматическом режиме.

Сброс продувочной воды котла приводит к потерям энергии, составляющим 1–3% энергии производимого пара. Кроме того, дополнительные затраты могут быть связаны с охлаждением сбрасываемых вод до температуры, установленной регулирующими органами.

Существует несколько способов сокращения объема продувочной воды:

- возврат конденсата (см. разделы 3.2.13 и 3.2.15). Конденсат не содержит твердых взвешенных или растворимых примесей, которые могли бы накапливаться внутри котла. Возврат половины конденсата позволяет сократить величину продувки на 50 %;
- в зависимости от качества питательной воды могут быть необходимы умягчение, декарбонизация и деминерализация воды. Кроме того, могут быть необходимы деаэрация воды и ее кондиционирование с использованием специальных добавок. Требуемая величина продувки определяется общим содержанием примесей в питательной воде, поступающей в котел. В случае питания котла сырой водой коэффициент продувки может достигать 7–8 %; водоподготовка позволяет снизить эту величину до 3% и менее;
- может быть также рассмотрен вариант установки автоматизированной системы управления продувкой. Как правило, такие системы основаны на измерении электропроводности; их использование позволяет обеспечить оптимальный баланс между соображениями надежности и энергосбережения. Величина продувки определяется на основе содержания примеси с наибольшей концентрацией и соответствующего предельного значения для данного котла (например, кремний – 130 мг/л; хлорид-ион <600 мг/л). Дополнительная информация по данному вопросу приведена в документе EN 12953 – 10;
- спуск продувочной воды при среднем или низком давлении, сопровождающийся выпариванием, – еще один способ утилизации части энергии, содержащейся в этой воде. Это метод применим на тех предприятиях, где имеется паровая сеть с меньшим давлением, чем то, при котором производится пар. С точки зрения эксергии это решение может быть более эффективным, чем простая рекуперация тепла продувочной воды при помощи теплообменника (см. разделы 3.2.14 и 3.2.15).

Термическая деаэрация питательной воды также приводит к потерям энергии в размере 1-3%. В процессе деаэрации из питательной воды, находящейся под повышенным давлением при температуре около 103 °C, удаляются CO_2 и кислород. Соответствующие потери могут быть сведены к минимуму посредством оптимизации расхода выпара деаэратора (см. раздел 3.2.8).

Экологические преимущества

Содержание энергии в продувочной воде зависит от давления в котле. Соответствующая зависимость представлена в табл. 3.9. Величина продувки выражается как процентная доля общего потребления питательной воды. Таким образом, величина продувки 5 % означает, что 5% питательной воды, поступающей в котел, расходуется на продувку, а остальное количество преобразуется в пар. Очевидно, сокращение величины продувки способно обеспечить энергосбережение.

Содержание энергии в продувочной воде (кДж на кг произведенного пара)					
Коэффициент продувки (% массы произведенного пара)	**Рабочее давление котла**				
	2 бар (м)	**5 бар (м)**	**10 бар (м)**	**20 бар (м)**	**50 бар (м)**
1	4,8	5,9	7,0	8,4	10,8
2	9,6	11,7	14,0	16,7	21,5
4	19,1	23,5	27,9	33,5	43,1
6	28,7	35,2	41,9	50,2	64,6
8	38,3	47,0	55,8	66,9	86,1
10	47,8	58,7	69,8	83,6	107,7

Таблица 3.9: Содержание энергии в продувочной воде

[29, Maes, 2005]

Кроме того, сокращение величины продувки приведет к сокращению объема сточных вод, а также затрат энергии или холода на любое охлаждение этих вод.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Сбросы химических веществ, используемых для водоподготовки, регенерации ионообменных смол и т.д.

Производственная информация

Оптимальная величина продувки определяется различными факторами, включая качество питательной воды и соответствующие процессы водоподготовки, долю возвращаемого конденсата, тип котла и эксплуатационные условия (расход воды, рабочее давление, тип топлива и т.д.). Как правило, коэффициент продувки составляет 4–8 % свежей воды, подаваемой в котел, однако может достигать 10% в случае высокого содержания растворенных веществ в подпиточной воде. Для оптимизированных котельных величина продувки не должна превышать 4 %. При этом величина продувки должна определяться содержанием добавок (антивспениватель, поглотитель кислорода) в подготовленной воде, а не концентрацией растворенных солей.

Применимость

Уменьшение величины продувки ниже критического уровня может привести к проблемам, связанным с пенообразованием и образованием накипи. Для снижения этого критического уровня могут использоваться другие меры, описанные выше (возврат конденсата, водоподготовка).

Недостаточные объемы продувки могут привести к износу и повреждению оборудования, а избыточные – к непроизводительному расходу энергии.

Экономические аспекты

Возможна значительная экономия энергии, реагентов, подпиточной воды и холода, что делает этот подход применимым практически в любых ситуациях. См. примеры, приводимые в приложении 7.10.1

Мотивы внедрения

- экономические соображения
- надежность производственного процесса.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002] [123, US_DOE, , 133, AENOR, 2004]

3.2.8. Оптимизация расхода пара в деаэраторе

Общая характеристика

Деаэратор представляет собой механическое устройство для удаления растворенных газов из питательной воды котлы. Деаэрация позволяет предохранить паровые системы от коррозийного действия растворенных газов. В результате деаэрации концентрации растворенного кислорода и диоксида углерода снижаются до уровня, безопасного с точки зрения коррозии. Для предотвращения коррозии в большинстве котлов высокого давления (>13,79 бар (м)) концентрация кислорода не должна превышать 5 част./млрд. (частей на миллиард). Хотя в котлах низкого давления приемлемы концентрации растворенного кислорода до 43 част./млрд., снижение содержания кислорода до уровня 5 част./млрд. является малозатратным способом продления срока службы оборудования. Растворенный диоксид углерода удаляется в процессе деаэрации практически полностью.

Конструкция эффективной системы деаэрации определяется исходным содержанием растворенных газов и желаемой концентрацией кислорода после деаэрации. Эти параметры, в свою очередь, зависят от соотношения подпиточной воды и возвратного конденсата, а также рабочего давления котла.

Пар используется в деаэраторах для нагрева воды до температуры полного насыщения, соответствующей давлению пара в деаэраторе, а также для уноса выделяющихся растворенных газов. Пар может подаваться прямотоком, противотоком или перпендикулярно по отношению к потоку воды. Деаэратор состоит из деаэрационной колонки, резервуара (бака) и охладителя выпара. В деаэрационной колонке пар продувается (барботирует) через воду, нагревая и вспенивая ее. Затем пар поступает в охладитель выпара, где конденсируется, отдавая тепло воде, поступающей на деаэрацию. Неконденсируемые газы и часть пара выбрасываются из деаэратора. При этом расход подаваемого пара и выбрасываемого выпара должны быть оптимизированы с тем, чтобы обеспечить достаточную деаэрацию, одновременно сведя к минимуму потери пара (см. «Производственная информация»).

Внезапное увеличение количества выпара может привести к резкому росту давления в деаэрационной колонке и, как следствие, повторному растворению кислорода в воде. Поэтому деаэратор должен быть оборудован специальным регулирующим клапаном, обеспечивающим постоянное давление.

Экологические преимущества

Сокращение потерь энергии с выпаром.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщается.

Производственная информация

Пар, подаваемый в деаэратор, обеспечивает нагрев смеси возвратного конденсата и подпиточной воды до температуры насыщения, а также физическое действие (барботирование), приводящее к выделению растворенных газов. После использования большая часть пара конденсируется, однако незначительная его доля (как правило, от 5 до 14 %) выбрасывается вместе с газами в составе выпара. Как правило, при проектировании деаэраторов рассчитывается расход пара, необходимый для подогрева воды, а затем проектировщики при необходимости обеспечивают достаточность расхода и для барботажа. При высокой степени возврата конденсата (>80 %) и его высоком давлении по сравнению с давлением в деаэраторе требуется лишь небольшое количество греющего пара, и могут быть приняты меры по конденсации избыточного барботажного пара.

Энергия пара, использованного в деаэраторе, может утилизироваться посредством конденсации пара и передачи тепла воде, поступающей в деаэратор, при помощи теплообменника (см. раздел 3.2.5).

Потребности деаэратора в паре должны быть проанализированы и оценены при рассмотрении любых планов реконструкции паровых систем, а также мер по возврату конденсата и утилизации тепловой энергии.

Установка устройств, осуществляющих постоянный мониторинг содержания растворенного кислорода, может способствовать выявлению режимов и практических подходов, не обеспечивающих достаточной деаэрации.

Назначением деаэратора является удаление кислорода, растворенного в воде, а не дополнительно подсасываемого воздуха. Источником такого воздуха могут служить некачественные уплотнения на всасывающей стороне насоса, а также недостаточная изоляция насоса.

Применимость

Применимо на всех объектах, где в состав паровых систем входит деаэратор. Оптимизация представляет собой постоянный процесс, являющийся частью технического обслуживания.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Снижение затрат за счет сокращения расхода пара.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[123, US_DOE]

3.2.9. Оптимизация работы котла короткими циклами

Общая характеристика

Потери энергии, связанные с работой короткими циклами, имеют место всякий раз, когда котел останавливается на короткий промежуток времени. При этом цикл котла состоит из периода продувки, операций, следующих за продувкой, периода останова, начальной продувки и запуска. Некоторые потери в период продувки и бездействия могут быть незначительными в случае современных котлов с хорошей теплоизоляцией, но могут достигать значительно большей величины в случае старых котлов с некачественной изоляцией.

Потери, связанные с работой короткими циклами, могут быть особенно велики, если котел должен выходить на требуемую мощность в течение очень короткого промежутка времени. Как правило, это означает, что установленная мощность котла значительно выше, чем усредненная потребность производства в паре. Потребность технологических процессов в паре может меняться со временем, и соответствующие оценки должны время от времени пересматриваться (см. раздел 2.2.2). Возможно, с момента установки котла общая потребность в паре снизилась за счет мероприятий по энергосбережению. Еще одним вариантом может быть ситуация, когда избыточные мощности были установлены в связи с планами расширения производства, которые так и не были реализованы.

Еще на этапе проектирования установки следует уделить внимание выбору типа котлов. Жаротрубные котлы характеризуются большей тепловой инерцей и значительным объемом воды. Они хорошо приспособлены для работы с относительно постоянной нагрузкой, в т.ч. весьма значительной. Парогенераторы и водотрубные котлы также способны производить большие количества пара, однако относительно небольшой объем воды делает их лучше приспособленными к значительным колебаниям нагрузки.

Работы короткими циклами можно избежать посредством установки нескольких котлов с меньшей мощностью вместо одного котла большой мощности. Это позволяет повысить как гибкость, так и надежность пароснабжения. Автоматизированная система управления котлами может исходить из критериев оптимизации КПД производства пара и предельных затрат на его производство. Таким образом можно обеспечить удовлетворение возникающих дополнительных потребностей с наименьшими возможными затратами.

Еще одним вариантом является наличие резервного котла. В этом случае рабочая температура резервного котла может поддерживаться посредством циркуляции воды из действующего котла через резервный. Это позволяет снизить потери энергии дымовых газов на обеспечение готовности котла. Резервный котел должен иметь хорошую теплоизоляцию и быть оборудован надлежащими воздушными клапанами для запуска горелок.

Энергосбережение может быть достигнуто за счет улучшения теплоизоляции котла или его замены.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

Постоянное поддержание рабочей температуры резервного котла требует постоянных затрат энергии в размере приблизительно 8% от общей мощности котла. Необходимо определить оптимальный баланс между соображениями надежности и энергоэффективности.

Применимость

Негативные последствия работы короткими циклами проявляются особенно ярко в том случае, если используется лишь малая часть установленной мощности котлов, например, менее 25%. В этом случае рекомендуется проанализировать вопрос о замене котловой системы в целом.

Экономические аспекты

См. примеры в приложении 7.10.1.

Мотивы внедрения

- снижение затрат;
- повышение эффективности системы.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [123, US_DOE]

3.2.10. Оптимизация парораспределительных систем

Общая характеристика

Распределительная система обеспечивает подачу пара от котла различным конечным потребителям. Хотя при поверхностном взгляде может показаться, что распределительная система играет пассивную роль, на практике подобные системы способны активно регулировать распределение пара, реагируя на меняющиеся требования к его температуре и давлению. Как следствие, обеспечение оптимальной эффективности парораспределительных систем требует тщательного проектирования и надлежащего технического обслуживания. Необходимо подобрать оптимальный диаметр труб паропровода, обеспечить надлежащее их крепление и теплоизоляцию, а также конфигурацию паропровода, допускающую необходимую гибкость. Устройства, регулирующие давление, например, редукционные клапаны и турбодетандеры, должны быть установлены и настроены таким образом, чтобы обеспечить адекватный баланс пара между различными парораспределителями. Кроме того, парораспределительная система должна обеспечивать адекватное удаление конденсата, что предъявляет требования к пропускной способности дренажных трубопроводов и выбору конденсатоотводчиков.

Техническое обслуживание также играет большую роль, в частности, с точки зрения:

- обеспечения надлежащего функционирования конденсатоотводчиков (см. раздел 3.2.12);
- установки теплоизоляции и поддержания ее в надлежащем состоянии (см. раздел 3.2.11);
- своевременного обнаружения и устранения утечек в ходе планового технического обслуживания. Своевременное обнаружение утечек операторами технологических процессов также вносит вклад в этот процесс. К утечкам относится и подсос воздуха со всасывающей стороны насосов;
- выявления и отключения неиспользуемых паропроводов.

Экологические преимущества

Энергосбережение в результате сокращения потерь энергии.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Паропроводы обеспечивают подачу пара от котла конечным потребителям. Важными характеристиками хорошо спроектированной парораспределительной системы являются адекватный диаметр и надлежащее крепление труб, а также оптимальная конфигурация системы. Использование труб большего диаметра может быть сопряжено с дополнительными затратами, но

способно обеспечивать меньший перепад давления при заданном массовом расходе пара. Кроме того, использование труб большего диаметра позволяет снизить уровень шума, возникающего вследствие движения пара. Наконец, при выборе диаметра труб следует учитывать характер среды, в которой будет находиться трубопроводы. Важными аспектами конфигурации системы являются ее гибкость, а также организация отведения конденсата. Гибкость означает, что паропроводы (в особенности в местах присоединения к оборудованию) должны быть приспособлены к тепловой динамике при запуске и останове системы. Кроме того, паропроводы должны быть оборудованы надлежащим количеством дренажных устройств и труб адекватного размера, обеспечивающих отведение конденсата. При этом трубы должны иметь наклон, способствующий удалению конденсата. Как правило, дренажные устройства должны быть рассчитаны на эксплуатационные условия двух типов, соответствующих нормальному рабочему режиму и запуску системы. Оба уровня нагрузки должны быть приняты во внимание при проектировании системы.

Применимость

Все паровые системы. Оптимальным временем для решения вопросов выбора надлежащего диаметра труб, минимизации крутых изгибов и т.п. являются этапы проектирования и установки системы (в т.ч., капитального ремонта, реконструкции или модернизации).

Экономические аспекты

- выбор оптимального диаметра труб на этапе проектирования хорошо окупается на протяжении срока службы системы;
- мероприятия по техническому обслуживанию (например, выявление и устранение утечек) также обеспечивают быстрый экономический эффект.

Мотивы внедрения

- снижение затрат;
- соображения охраны труда и производственной безопасности.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[123, US_DOE]

3.2.11. Теплоизоляция паропроводов и конденсатопроводов

Общая характеристика

Паропроводы и конденсатопроводы, лишенные теплоизоляции, представляют собой постоянный источник потерь тепла, которые могут быть легко устранены. В большинстве случаев теплоизоляция всех нагретых поверхностей не представляет значительных трудностей. Кроме того, локальное повреждение теплоизоляции может быть легко устранено. Возможны ситуации, когда теплоизоляция была удалена в процессе технического обслуживания или ремонта и не восстановлена по окончании работ. Могут также отсутствовать съемные элементы теплоизоляции клапанов и других устройств.

Промокшая или загрубевшая теплоизоляция подлежит замене. Влажная теплоизоляция часто указывает на наличие утечки. В этом случае утечка должна быть устранена до замены теплоизоляции.

Экологические преимущества

В табл. 3.10 представлены потери тепла от поверхности неизолированного паропровода в зависимости от давления пара.

Диаметр паропровода, мм	Примерные потери тепла на 30 м неизолированного паропровода, ГДж/год			
	Давление пара, бар (м)			
	1	10	20	40
25	148	301	396	522
50	248	506	665	886
100	438	897	1182	1583
200	781	1625	2142	2875
300	1113	2321	3070	4136

Таблица 3.10: Потери тепла на 30 м неизолированного паропровода

Адаптировано из [123, US_DOE]

Снижение потерь тепла в результате улучшения теплоизоляции способно привести к сокращению расхода воды и, как следствие, к снижению затрат на водоподготовку.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Увеличение расхода теплоизоляционных материалов.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

В отсутствие детального анализа эффективности для конкретной системы целесообразно обеспечить теплоизоляцию всех труб с температурой выше 200 °C и диаметром более 200 мм, а также периодический контроль состояния этой теплоизоляции (например, посредством инфракрасного сканирования перед остановкой системы на плановое техническое обслуживание). Кроме того, следует изолировать все поверхности, температура которых может превышать 50 ºC, и с которыми возможен контакт персонала.

Экономические аспекты

Возможна быстрая окупаемость соответствующих затрат, однако конкретный период зависит от цен на энергию, объема потерь и затрат на теплоизоляцию.

Мотивы внедрения

Относительная легкость реализации по сравнению с другими методами. Соображения охраны труда и производственной безопасности.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.2.11.1. Использование съемных панелей для теплоизоляции клапанов и фитингов

Общая характеристика

В процессе технического обслуживания теплоизоляция труб, клапанов и фитингов часто повреждается, а затем не восстанавливается.

Уровень теплоизоляции различных компонентов паровой системы часто различается. Как правило, сам котел в современной системе хорошо изолирован. В то же время фитинги, клапаны, а также другие соединения могут быть изолированы не так хорошо. Существуют съемные и

пригодные для повторного использования теплоизоляционные панели, которые могут быть использованы для изоляции нагретых поверхностей и элементов оборудования.

Экологические преимущества

Эффективность данного метода зависит от конкретных условий, однако следует отметить, что потери тепла в результате частых повреждений теплоизоляции во многих случаях недооцениваются.

В табл. 3.11 приведена оценка объемов энергосбережения в результате использования съемной теплоизоляции для клапанов различных размеров при различных температурах. Расчеты проводились при помощи программного обеспечения, отвечающего стандарту ASTM C 1680 (расчет потерь тепла и температуры поверхностей). Объем энергосбережения определялся как разница между потерями тепла неизолированного клапана и изолированного клапана при той же рабочей температуре.

Примерные объемы энергосбережения* в результате установки съемной теплоизоляции клапана, Вт						
Рабочая температура, °C	**Размер клапана, мм**					
	75	**100**	**150**	**200**	**255**	**305**
95	230	315	450	640	840	955
150	495	670	970	1405	1815	2110
205	840	985	1700	2430	3165	3660
260	1305	1800	2635	3805	4950	5770
315	1945	2640	3895	5625	7380	8580
* В предположении использования теплоизоляционной панели толщиной 25 мм для фланцевого клапана класса 150 фунтов/кв. дюйм (~10,3 бар), соответствующего стандартам ANSI, и температуры окружающего воздуха 20°C						

Таблица 3.11: Примерные объемы энергосбережения в результате установки съемной теплоизоляции клапана

[123, US_DOE]

Кроме того, надлежащая установка съемной теплоизоляции может способствовать снижению уровня шума.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

Съемные или пригодные для повторного использования теплоизоляционные панели часто используются в промышленности для изоляции фланцев, клапанов, компенсаторов, теплообменников, насосов, турбин, резервуаров и прочих устройств и поверхностей неправильной формы. Такие панели являются гибкими, устойчивыми к вибрации и могут использоваться для теплоизоляции вертикально и горизонтально смонтированного, а также труднодоступного оборудования.

Применимость

Применимо для любых трубопроводов и элементов оборудования, имеющих высокую температуру, изоляция которых целесообразна с точки зрения снижения потерь тепла, а также повышения уровня безопасности. Следует ориентироваться на общее правило, согласно которому из соображений безопасности следует изолировать все поверхности, температура которых может превышать 50ºC, если с ними возможен контакт персонала (см. раздел 3.2.11). Теплоизоляционные панели и элементы изоляции могут легко сниматься для периодического

осмотра или технического обслуживания и при необходимости заменяться. Кроме того, в состав таких панелей входит материал, придающий им звукоизоляционные свойства, что вносит вклад в снижение уровня шума.

Особое внимание требуется при изоляции конденсатоотводчиков. Некоторые типы конденсатоотводчиков могут нормально функционировать лишь при условии конденсации ограниченного количества пара или возможности рассеяния определенного количества тепла (например, некоторые термодинамические и термостатические конденсатоотводчики).

Чрезмерная теплоизоляция таких конденсатоотводчиков может препятствовать их нормальному функционированию. Поэтому перед установкой изоляции необходимо проконсультироваться с производителем или другим экспертом.

Экономические аспекты

Возможна быстрая окупаемость соответствующих затрат, однако конкретный период зависит от цен на энергию и теплоизоляцию, а также объектов, которые предполагается изолировать.

Мотивы внедрения

- снижение затрат;
- соображения охраны труда и производственной безопасности.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002, 123, US_DOE]

3.2.12. Реализация программы контроля состояния конденсатоотводчиков и их ремонта

Общая характеристика

Утечки в конденсатоотводчиках способны приводить к потере значительных количеств пара и, как следствие, энергии. Надлежащее техническое обслуживание является эффективным способом сокращения этих потерь. В паровых системах, где контроль состояния конденсатоотводчиков не осуществлялся в течение 3–5 лет, до 30% конденсатоотводчиков могут иметь утечки. В системах, где регулярно осуществляется программа планового технического обслуживания, утечки не должны иметь место более чем в 5% общего количества конденсатоотводчиков.

Существует множество различных типов конденсатоотводчиков, каждый из которых имеет собственные характеристики и особенности. Контроль состояния конденсатоотводчиков может осуществляться посредством визуального осмотра, акустических методов, измерения проводимости или температуры.

При замене конденсатоотводчиков в качестве варианта могут быть рассмотрены конденсатоотводчики с соплом Вентури. По данным некоторых исследований, при определенных условиях эти устройства характеризуются меньшим уровнем потерь пара и имеют больший срок службы. Однако среди экспертов существуют различные мнения относительно эффективности конденсатоотводчиков данного типа. В любом случае, определенный уровень утечки является неотъемлемой особенностью устройств данного типа, вследствие чего их применение может быть оправдано лишь для строго определенных условий (например, при использовании ребойлеров, постоянно функционирующих на уровне, как минимум, 50–70% проектной мощности).

Экологические преимущества

В табл. 3.12 представлены примерные объемы утечек для отверстий различного диаметра:

Примерный диаметр отверстия, мм	Примерные потери пара, кг/ч			
	Примерное давление пара, бар (м)			
	1	**7**	**10**	**20**
1	0,38	1,5	2,1	–
2	1,5	6,0	8,6	16,4
3	6,2	24	34,4	65,8
4	13,9	54	77	148
6	24,8	96	137	263
8	55,8	215	309	591

Таблица 3.12: Объемы утечек пара из конденсатоотводчика

[123, US_DOE]

Производственная информация

Ежегодная программа контроля охватывает все конденсатоотводчики. Категории, используемые для характеристики состояния устройств, представлены в табл. 3.13.

Код	Название	Характеристика
OK	Норма	Штатное функционирование
BT	Продув	Конденсатоотводчик не удерживает пара; максимальные потери. Необходима замена
LK	Утечка	Утечка пара из данного конденсатоотводчика. Необходимы ремонт или замена
RC	Быстрый цикл	Цикл данного термодинамического конденсатоотводчика является слишком быстрым. Необходимы ремонт или замена
PL	Заглушен	Конденсатоотводчик заглушен; конденсат не может течь через него. Необходима замена.
FL	Переполнен	Конденсатоотводчик переполнен и не может обеспечивать адекватный поток конденсата. Необходима замена на конденсатоотводчик адекватной производительности
OS	Не используется	Данный паропровод отключен
NT	Контроль не производился	Контроль не производился в силу труднодоступности конденсатоотводчика

Таблица 3.13: Категории состояния конденсатоотводчиков

[29, Maes, 2005]

Потери пара для конденсатоотводчика могут быть оценены при помощи следующей формулы:

$$L_{t,y} = \frac{1}{150} \cdot FT_{t,y} \cdot FS_{t,y} \cdot CV_{t,y} \cdot h_{t,y} \cdot \sqrt{P_{in,t}^2 - P_{out,t}^2} \qquad \textbf{Уравнение 3.5}$$

где:

$L_{t,y}$ – общие потери пара из конденсатоотводчика t за период времени y (в тоннах);

$FT_{t,y}$ – показатель состояния конденсатоотводчика t в период времени y;

$FS_{t,y}$ – коэффициент загрузки конденсатоотводчика t в период времени y;

$CV_{t,y}$ – коэффициент потока конденсатоотводчика t в период времени y;

$h_{t,y}$ – время работы конденсатоотводчика t за период времени y (в часах);

$P_{in,t}$ – входное давление пара конденсатоотводчика t (атм);

$P_{out,t}$ – выходное давление пара конденсатоотводчика t (атм).

Показатель состояния конденсатоотводчика $FT_{t,y}$ определяется по таблице 3.14:

	Тип	**FT**
BT	Продув	1
LK	Утечка	0,25
RC	Быстрый цикл	0,20

Таблица 3.14: Показатель состояния коненсатоотводчика для расчета потерь пара

[29, Maes, 2005]

Коэффициент загрузки учитывает взаимодействие между паром и конденсатом. Чем больше конденсата протекает через устройство, тем меньше пространства остается для пара. Величина коэффициента зависит от характера применения конденсатоотводчика, как показано в табл. 3.15:

Применение	**Коэффициент загрузки**
Стандартное применение	0,9
Дренажный конденсатоотводчик	1,4
Поток пара (конденсат отсутствует)	2,1

Таблица 3.15: Коэффициент загрузки коненсатоотводчика для расчета потерь пара

[29, Maes, 2005]

Наконец, коэффициент потока определяется размером трубы:

$CV = 3{,}43D^2$,

где D – внутренний диаметр трубы (см).

Ниже приводится пример расчета потерь:

$FT_{t,yr} = 0{,}25$;

$FS_{t,yr} = 0{,}9$ – поскольку имеет место конденсация пара, и объемы конденсата соответствуют емкости конденсатоотводчика (см. табл. 3.15);

$CV_{t,yr} = 7{,}72$;

$D = 1{,}5$ см;

$h_{t,y} = 6000$ ч/год;

$P_{in,t} = 16$ атм;

$P_{out,t} = 1$ атм.

Таким образом, потери пара для данного конденсатоотводчика составляют до 1110 т пара в год.

Если стоимость пара для данной установки равна 15 евро/т, то в денежном выражении потери составляют 16650 евро/год.

Если имеют место не утечки, а потеря всего пара, поступающего в данный конденсатоотводчик, затраты могут достичь 66570 евро/год.

Подобные масштабы потерь легко оправдывают внедрение эффективной системы контроля и технического обслуживания, охватывающей все конденсатоотводчики предприятия.

Применимость

Любая паровая система требует наличия системы выявления утечек в конденсатоотводчиках и определения необходимости замены устройств. Часто конденсатоотводчики характеризуются коротким сроком службы.

Периодичность проверок конденсатоотводчиков зависит от масштаба предприятия, массового расхода пара, рабочего давления (давлений), количества и производительности конденсатоотводчиков, возраста и состояния конденсатоотводчиков и системы в целом, а также наличия любых программ планового технического обслуживания. Экономическая эффективность масштабных программ контроля и замены конденсатоотводчиков должна оцениваться с учетом всех этих факторов. (На некоторых предприятиях может иметься менее 50 конденсатоотводчиков, установленных в легкодоступных местах, а количество конденсатоотводчиков на других предприятиях может достигать 10 тыс.)

Некоторые источники рекомендуют осуществлять контроль крупных конденсатоотводчиков (например, тех, в которых массовый расход пара достигает 1 т/ч) на ежегодной основе, а контроль меньших устройств – в рамках скользящей программы, предусматривающей проверку 25 % конденсатоотводчиков каждый год (т.е., проверку каждого устройства, как минимум, раз в 4 года). Подобные программы сходны с программами LDAR (выявления и устранения утечек), реализация которых является требованием регулирующих органов во многих странах. На одном из предприятии, где техническое обслуживание конденсатоотводчиков осуществлялось бессистемно, было обнаружено, что до 20% устройств находятся в неисправном состоянии. Ежегодная проверка позволяет сократить долю конденсатоотводчиков с утечками до 4 – 5 % и в течение 5 лет постепенно снизить эту величину до 3% (по мере замены старых конденсатоотводчиков новыми).

В любом случае, при проверке конденсатоотводчиков целесообразно также проверять состояние соответствующих перепускных клапанов. В некоторых случаях их оставляют открытыми для предотвращения чрезмерного увеличения давления и повреждения паропроводов в тех случаях, когда конденсатоотводчик неспособен отвести весь конденсат, и по другим соображениям эксплуатационного характера. Как правило, выявление и устранение исходной проблемы (что может потребовать ремонта, капитальных затрат и т.п.) является более эффективным подходом, чем эксплуатация системы с низким уровнем энергоэффективности, обусловленным наличием проблем.

Конденсатоотводчик любого типа может быть оснащен устройством автоматизированного контроля. Это особенно полезно в случае:

- конденсатоотводчиков, работающих при высоком давлении, где любая утечка приводит к значительным потерям энергии;
- конденсатоотводчиков, функционирование которых критически важно для системы, и блокирование которых способно привести к повреждению оборудования или нарушению производственного процесса.

Экономические аспекты

Как правило, затраты на замену конденсатоотводчиков значительно ниже, чем потери, связанные с их неадекватным функционированием. Быстрая окупаемость, конкретные сроки зависят от масштаба утечек. См. примеры, приведенные выше.

Мотивы внедрения

- сокращение затрат;
- повышение энергоэффективности паровых систем.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.2.13. Сбор и возврат конденсата в котел

Общая характеристика

При передаче тепла производственному процессу при помощи теплообменника пар отдает скрытую теплоту (теплоту конденсации) и конденсируется, образуя горячую воду. Эта вода теряется или (что является обычной практикой) собирается и возвращается в котел. Повторное использование конденсата преследует четыре цели:

- использование тепловой энергии, содержащейся в горячем конденсате;
- снижение затрат на получение сырой подпиточной воды;
- снижение затрат на подготовку сырой воды;
- снижение затрат, связанных со сбросом сточных вод (там, где это применимо).

Конденсат собирается при атмосферном или отрицательном давлении. При этом источником конденсата может быть пар с гораздо более высоким давлением.

Экологические преимущества

При снижении давления до атмосферного часть конденсата может вновь самопроизвольно испаряться, образуя выпар. Последний также может быть собран и использован повторно (см. раздел 3.2.14).

Возврат конденсата приводит также к сокращению расхода химических веществ на водоподготовку. Сокращаются и объемы потребляемых и сбрасываемых вод также.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

В случае отрицательного давления необходима деаэрация конденсата.

Применимость

Данный метод неприменим в случаях, когда собранный конденсат загрязнен, или когда сбор конденсата невозможен в силу того, что сам пар используется в технологическом процессе.

При проектировании новых установок рекомендуемым подходом является разделение конденсата на потенциально загрязняемый и незагрязненный (чистый) потоки. Чистый конденсат поступает из источников, где загрязнение в принципе невозможно (например, из ребойлеров, рабочее давление которых выше давления технологического процесса, так что в случае утечки пар попадает наружу, а не компоненты процесса – внутрь). Потенциально загрязняемый конденсат может быть загрязнен в случае нештатной ситуации (например, разрыва трубы ребойлера в условиях, когда его рабочее давление ниже, чем давление технологического процесса). Сбор и возврат чистого конденсата не требует дополнительных мер предосторожности. Возврат потенциально загрязняемого конденсата возможен при отсутствии загрязнения (вызванного, например, утечкой в ребойлере), которое отслеживается в реальном времени при помощи датчиков, например, датчика общего органического углерода.

Экономические аспекты

Возврат конденсата связан со значительными преимуществами и должен рассматриваться во всех ситуациях, где он в принципе применим (см. «Применимость» выше), за исключением случаев, когда объем потенциально возвращаемого конденсата низок (например, когда пар расходуется в технологическом процессе).

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Применяется практически повсеместно.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002]

3.2.14. Использование самоиспарения

Общая характеристика

Самоиспарение происходит, когда конденсат, находящийся под высоким давлением, попадает в область низкого давления.

Утилизация энергии самоиспарения может быть достигнута посредством теплообмена с подпиточной водой котла. Если при продувке котла для снижения давления воды используется расширительный бак, при этом также образуется пар низкого давления. Это пар не содержит растворенных солей, а его энергия составляет значительную часть тепловой энергии продувочной воды. Поэтому пар может быть направлен непосредственно в деаэратор, где он смешается с сырой подпиточной водой.

Следует, однако, иметь в виду, что пар занимает гораздо больший объем, чем конденсат. Устройство возвратных труб должно обеспечивать прием выпара без значительного повышения давления в системе. В противном случае возникшее противодавление может нарушить функционирование конденсатоотводчиков и других устройств выше по паропроводу.

В пределах котельной пар, так же, как и конденсат, может использоваться для подогрева питательной воды в деаэраторе. Другим вариантом является использование энергии пара для предварительного подогрева воздуха горения.

За пределами котельной пар может использоваться для подогрева различных компонентов до температур ниже 100°C. Существуют системы, использующие пар под давлением 1 бар (м), и выпар может быть направлен в эти системы. Выпар может использоваться и для других целей, в частности, для предварительного подогрева воздуха в различных технологических процессах.

Как правило, потребности технологических процессов в паре низкого давления удовлетворяются за счет дросселирования пара высокого давления. Однако часть этих потребностей может быть удовлетворена с незначительными затратами за счет выпаривания конденсата высокого давления. Выпаривание является особенно привлекательным вариантом в тех случаях, когда возврат конденсата высокого давления в котел нецелесообразен с экономической точки зрения.

Экологические преимущества

Зависят от конкретных условий.

При давлении 1 бар температура конденсата равна 100°C, а энтальпия – 419 кДж/кг. Общее количество энергии, которая может быть получена при утилизации энергии пара, зависит от рабочей мощности установки. Количество тепловой энергии, покидающей паровую систему с конденсатом, представлено в табл. 3.16. В той же таблице приведено относительное содержание энергии в конденсате и паре. При высоком давлении пар содержит большую часть энергии.

Абсолютное давление, бар	В конденсате при атмосферном давлении, %	В конденсате и образовавшемся паре при давлении котла, %	Относительная доля энергии конденсата и пара, содержащаяся в паре, %
1	13,6	13,6	0,0
2	13,4	16,7	19,9
3	13,3	18,7	28,9
5	13,2	21,5	38,6
8	13,1	24,3	46,2
10	13,0	25,8	49,4
15	13,0	28,7	54,7
20	12,9	30,9	58,2
25	12,9	32,8	60,6
40	12,9	37,4	65,4
Примечание: Во многих случаях питательная вода, используемая установкой, имеет среднегодовую температуру около 15°C. Приводимые в таблице величины получены в предположении, что свежая вода, потребляемая установкой, имеет температуру 15°C (энтальпия – 63 кДж/кг)			

Таблица 3.16: Доля общей энергии, приходящаяся на конденсат при атмосферном давлении и выпар

[29, Maes, 2005]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

В результате получения выпара из конденсата высокого давления температура конденсата, возвращаемого в котел, (и содержание в нем тепловой энергии) снижаются. Если вода, поступающая в котел, подогревается в экономайзере, снижение ее температуры является благоприятным фактором, поскольку это позволяет более полно утилизировать энергию дымовых газов и, в конечном счете, повысить КПД котла. Такое сочетание методов утилизации обеспечивает наибольшую энергоэффективность. Однако предприятие должно найти применение полученному пару низкого давления, принимая во внимание тот факт, что такой пар из любых источников может подаваться лишь на ограниченные расстояния. На многих предприятиях (например, нефтеперерабатывающих и химических) существует избыток пара низкого давления, и найти применение выпару часто бывает затруднительно. В такой ситуации наилучшим вариантом является возврат конденсата в деаэратор, поскольку стравливание выпара в атмосферу представляло бы собой непроизводительное использование энергии. Во избежание проблем, связанных с конденсатом, может быть организован локальный сбор конденсата в пределах конкретной производственной единицы или линии, когда собранный конденсат возвращается в деаэратор.

Выбор оптимального варианта зависит от экономической эффективности затрат на установку необходимых трубопроводов и другого оборудования (см. раздел 1.1.6).

Производственная информация

Повторное использование выпара возможно во многих случаях. В частности, он может использоваться для нагрева до температуры ниже 100°C; возможны и другие варианты.

Сбор выпара в конденсатопровод. За время функционирования установки к существующим трубопроводам могут добавляться дополнительные компоненты, и размер конденсатопроводов может оказаться недостаточным для приема всего возвратного конденсата. В большинстве случаев возвращаемый конденсат имеет атмосферное давление, что означает, что значительная часть трубопровода заполнена выпаром. Если количество возвращаемого конденсата увеличивается, давление в трубах может подняться выше 1 бар (м). Это может привести к

проблемам выше по трубопроводу, нарушить функционирование конденсатоотводчиков и других устройств, и т.п.

Выпар может отводиться в специальный резервуар, установленный в подходящем месте конденсатопровода. Затем выпар может использоваться для локального предварительного подогрева или нагрева до температуры менее 100°C. Одновременно это позволит вернуть давление в конденсатопроводе к проектным значениям, избежав необходимости модернизации конденсатопровода.

При анализе существующей системы одним из вариантов, заслуживающих рассмотрения, является возврат конденсата при пониженном давлении. Это приведет к образованию большего количества выпара; температура при этом снизится до уровня ниже 100°C.

При использовании выпара, например, для нагрева до температуры ниже 100°C, возможна ситуация, когда реальное давление в змеевике теплообменника после того, как пар отдаст часть энергии, снизится до уровня ниже 1 бар. Это может привести к подсосу конденсата в змеевик и затоплению последнего. Этой ситуации можно избежать, организовав возврат конденсата при пониженном давлении. При этом образуется больше выпара, которому передается больше энергии конденсата. В такой ситауции компоненты, в которых используется энергия выпара, могут быть объединены в отдельную сеть. Однако при этом понадобится установка дополнительных насосов для поддержания пониженного давления и удаления воздуха, подсасываемого в трубы из атмосферы.

Применимость

Данный метод применим в условиях, когда на предприятии имеется паровая сеть с давлением более низким, чем давление, при котором пар производится в котле. Кроме того, выпаривание продувочных вод котла может быть более эффективным с точки зрения эксергии, чем простая утилизация тепла продувочных вод с помощью теплообменника.

Теоретически выпар может применяться вместо пара, произведенного в котле, в любой ситуации, где существует потребность в тепловой энергии при невысоких температурах. На производстве может существовать целый ряд возможных применений, заслуживающих тщательного исследования, хотя практическая реализация этих возможностей может быть сопряжена с трудностями. В частности, выпар широко применяется в нефтехимической промышленности.

См. примеры в приложении 7.10.1.

Мотивы внедрения

- снижение затрат;
- наличие применений для пара низкого давления.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[29, Maes, 2005, 123, US_DOE]

3.2.15. Утилизация энергии продувочной воды котла

Общая характеристика

Энергия продувочной воды котла может использоваться для предварительного подогрева питательной воды при помощи теплообменника. Рассмотрение возможности утилизации тепла продувочной воды целесообразно для любого котла, где величина непрерывной продувки превышает 4% массового расхода производимого пара. значительные объемы энергосбережения достигаются в случае котлов высокого давления.

Альтернативным вариантом утилизации энергии продувочной воды является выпаривание последней при среднем или низком давлении (см. раздел 3.2.14).

Экологические преимущества

Потенциал утилизации энергии продувочной воды представлен в табл. 3.17:

Утилизация тепла продувочной воды, МДж/ч[33]					
Коэффициент, % массового расхода производимого пара	**Рабочее давление котла**				
	2 бар (м)	**5 бар (м)**	**10 бар (м)**	**20 бар (м)**	**50 бар (м)**
1	42	52	61	74	95
2	84	103	123	147	190
4	168	207	246	294	379
6	252	310	368	442	569
8	337	413	491	589	758
10	421	516	614	736	948

Таблица 3.17: Потенциал утилизации энергии продувочной воды

[29, Maes, 2005]

Охлаждение продувочной воды облегчает также соблюдение требований природоохранного законодательства, которое может накладывать определенные ограничения на температуру сбрасываемых вод.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

См. примеры в приложении 7.10.1.

Применимость

См. «Экономические аспекты».

Экономические аспекты

Энергосбережение, достигаемое при помощи данного метода, как правило, обеспечивает окупаемость инвестиций в течение нескольких лет.

Мотивы внедрения

Снижение затрат.

Примеры

См. примеры в разделе 7.10.1.

Справочная информация

[29, Maes, 2005], [16, CIPEC, 2002] [123, US_DOE] CEN EN 12952-15:2003 and CEN EN

12953-11:2003

3.3. Утилизация тепла и охлаждение

[16, CIPEC, 2002, 26, Neisecke, 2003, 34, ADENE, 2005, 97, Kreith, 1997]

Тепло естественным образом передается от тела с более высокой температурой (источника тепла) к телу с более низкой температурой (теплоприемнику) (см. обсуждение второго закона термодинамики в разделе 1.2.2.2). Потоки тепла, отходящего от какого-либо процесса или

[33] Расчеты выполнялись для котла с массовым расходом производимого пара 10 т/ч, средней температуры питательной воды 20°C и КПД утилизации тепла продувочных вод 88%.

системы, могут, по аналогии с выбросами или сбросами вещества в окружающую среду, рассматриваться как относящиеся к одному из двух типов:

1. Неорганизованные «сбросы» тепла, например, излучение через отверстия печей, потери тепла от нагретых поверхностей с недостаточной теплоизоляцией или вообще без таковой, рассеивание тепла при работе подшипников.

2. Конкретные потоки тепла, соответствующие организованным сбросам и, как правило, связанные с тем или иным материальным потоком, например:

- горячие дымовые газы;
- выхлопные газы;
- хладагенты из систем охлаждения (например, газы, охлаждающая вода, термомасло);
- горячая или охлажденная продукция или отходы;
- сбрасываемые горячие или холодные сточные воды;
- теплота перегрева и конденсации, отводимая от систем охлаждения.

Соответствующие потери тепла часто характеризуются как «отходящее» или «сбросное» тепло, хотя более точным был бы термин «избыточное тепло» («теплоизбытки»), поскольку теплота, связанная с конкретными потоками, может использоваться для нужд другого процесса или системы. Для удобства читателя в этом разделе используется термин «отходящее/избыточное тепло».

Исходя из содержания эксергии («качества» тепла; см. раздел 1.2.2.2), можно условно разделить тепловые потоки на два уровня:

1. Тепло горячих потоков, например, горячих дымовых газов.

2. Тепло относительно холодных потоков (например, с температурой менее 80 °C). Утилизация этого тепла представляет собой более сложную задачу и может потребовать повышения его эксергии.

В простых случаях утилизация тепла может достигаться непосредственным применением методов, описанных ниже. В условиях более сложных установок с несколькими источниками и/или стоками тепла деятельность по утилизации тепла следует начинать на уровне предприятия или процесса, например, используя такие инструменты, как пинч-анализ, организуя передачу тепла между процессами и применяя методы интеграции процессов (см. разделы 2.3, 2.4 и 2.12).

Технологии утилизации тепла

Наиболее часто применяются следующие принципиальные подходы к утилизации тепла:

- непосредственное использование тепла: теплообменники, позволяющие использовать избыточное тепло (например, тепло горячих дымовых газов, см. раздел 3.2.5) для нужд другого процесса или системы;
- тепловые насосы, позволяющие повысить качество энергии относительно холодных потоков, в результате чего эта энергия может использоваться для совершения большего количества полезной работы, чем при исходной температуре этих потоков (т.е. затраты некоторого количества высококачественной энергии позволяют повысить качество отходящего/избыточного тепла);
- подходы, включающие несколько методов или ступеней, например, выпаривание, а также последовательное сочетание отдельных методов утилизации тепла, названных выше (см., например, раздел 3.11.3.6).

Возможности утилизации тепла, отходящего от технологических процессов, должны изучаться после оптимизации соответствующих процессов. Оптимизация после внедрения методов утилизации тепла способна оказать негативное влияние на системы утилизации, а мощность установленного оборудования может оказаться избыточной, что негативно повлияет на экономическую эффективность.

Кроме того, важно оценить количество и качество отходящего/избыточного тепла, а затем, исходя из этих данных, выявить возможные применения для него. Потенциал утилизации тепла часто ограничен такими факторами, как качество отходящего тепла и имеющиеся на предприятии возможности его использования.

Для организации эффективной утилизации тепла крайне важно располагать количественной информацией о существенных аспектах процессов, в которых образуется и будет использоваться тепло, а также пониманием этих процессов. Недостаток знаний о конкретных процессах является основным источником трудностей и неудач при организации утилизации тепла. Ошибки и существенные пробелы в данных способны привести к более серьезным проблемам, чем, например, неоптимальный выбор теплообменника. Как ошибки в понимании термодинамики процессов, так и отсутствие точной информации о физических свойствах отходящего тепла способны привести к проблемам независимо от выбранного типа теплообменника, если необходимая информация не получена заблаговременно.

Глубокое понимание технологического процесса, а также допустимого диапазона изменения его параметров является важной предпосылкой успешной и эффективной утилизации тепла. Хорошей отправной точкой для планирования соответствующих мер может быть детальное измерение и регистрация параметров процесса. Эта практика также позволит инженерам выявить потенциал энергосбережения, которое может быть реализован за счет малозатратных мер.

Возможные варианты утилизации тепла включают:

- использование тепла в том же процессе, который является его источником (регенерация, часто с использованием теплообменников, например, экономайзеров, см. раздел 3.2.5)
- использование тепла в другой системе или производственной единице (этот вариант может использоваться, например, в тех случаях, когда отходящее тепло характеризуется недостаточно высокой температурой). В этом случае, в своею очередь, возможны два варианта:
    - использование тепла в другом процессе или производственной единице той же установки;
    - использование тепла в процессах другой установки (например, на другом производстве в пределах химического комбината) или за пределами промышленных предприятий, например, в системах центрального отопления; см. обсуждение когенерации в разделе 3.4.

Если отходящее тепло характеризуется недостаточным содержанием эксергии, уровень последней может быть повышен при помощи теплового насоса, или может быть найдено применение для существующего тепла – например, горячее водоснабжение или отопление помещений (системы ОВКВ).

Поэтому в настоящем разделе обсуждается охлаждение (как деятельность, предоставляющая значительные возможности для утилизации отходящего тепла), а также два основных подхода, упоминавшихся выше – использование теплообменников и тепловых насосов.

3.3.1. Теплообменники

Общая характеристика

С помощью теплообменников осуществляется непосредственная утилизация тепла. Теплообменник представляет собой устройство, в котором тепловая энергия передается от одного потока жидкого или газообразного рабочего тела другому через твердую стенку. Теплообменники могут использоваться как для нагрева, так и для охлаждения. Теплообмен в этих устройствах осуществляется как за счет конвекции, так и за счет теплопроводности.

Отходящие потоки с температурами в диапазоне от примерно 70ºC до 500ºC имеют место во многих отраслях промышленности, таких, как:

- химическая промышленность, включая производство полимеров;
- пищевая промышленность, включая производство напитков;

- целлюлозно-бумажная промышленность;
- текстильная промышленность.

В данном диапазоне температур, в зависимости от конкретного применения и типа теплоносителей (газ – газ, газ – жидкость, жидкость – жидкость), может использоваться теплообменное оборудование (теплообменники) следующих типов:

- ротационные регенераторы;
- змеевиковые теплообменники;
- тепловые трубы /термосифонные теплообменники;
- трубчатые рекуператоры;
- экономайзеры;
- конденсационные экономайзеры;
- оросительные конденсаторы;
- кожухотрубчатые теплообменники;
- пластинчатые теплообменники;
- кожухопластинчатые теплообменники.

При более высоких температурах (выше 400 ºС), в таких отраслях, как, например, черная и цветная металлургия, а также производство стекла и керамических изделий, для утилизации тепла отходящих газов могут применяться следующие типы устройств:

- пластинчатые теплообменники;
- кожухотрубчатые теплообменники;
- радиационные трубы с рекуператорами;
- конвективные трубы с рекуператорами;
- рекуперативные горелки и системы горелок;
- статические регенераторы;
- ротационные регенераторы;
- компактные керамические регенераторы;
- импульсные регенеративные горелки;
- рекуперативные горелки с радиальными пластинами;
- регенеративные горелки со встроенным теплоаккумулирующим элементом;
- энергооптимизированные печи.

Скребковые теплообменники (теплообменники с динамически очищаемой поверхностью) применяются для нагрева и охлаждения при работе с материалами, обладающими высокой вязкостью, в процессах кристаллизации и выпаривания, а также в других ситуациях, где имеет место интенсивное загрязнение теплообменных поверхностей.

Одним из наиболее распространенных применений теплообменников являются системы кондиционирования воздуха (см. раздел 3.9). Как правило, в таких системах используются змеевиковые теплообменники.

Энергоэффективность

При проектировании теплообменника его конструкция оптимизируется исходя из ожидаемых условий его применения. Значительные отклонения от этих условий при эксплуатации устройства или значительные колебания эксплуатационных условий могут привести к изменению параметров теплообмена и коэффициента теплопередачи, а также падению давления теплоносителя.

Коэффициент теплопередачи и, как следствие, интенсивность теплообмена зависят от теплопроводности и толщины стенки, а также от состояния поверхности (прежде всего, степени загрязненности). Выбор оптимальной механической конструкции и материала способы повысить эффективность теплообменника. Затраты и механические нагрузки также влияют на выбор материала и конструкции теплообменника.

Интенсивность теплообмена существенным образом зависит от характеристик теплообменных поверхностей. Площадь поверхностей может быть увеличена за счет оребрения (как, например, в случае теплообменников с ребристыми трубами или ламельных теплообменников). Этот подход особенно полезен при низкой интенсивности теплообмена (например, в случае газообразного теплоносителя).

Загрязнение теплообменных поверхностей приводит к снижению интенсивности теплообмена. Уменьшение загрязнения может достигаться посредством использования специальных материалов (особо гладких поверхностей), специально подобранной формы поверхностей (например, спиральные теплообменники) или изменения рабочих условий (например, высокие скорости теплоносителей). Кроме того, поверхности могут очищаться при помощи автоматических систем очистки. Некоторые теплообменники оборудованы подобными системами (скребковые теплообменники с динамически очищаемой поверхностью).

Увеличение массового расхода теплоносителей приводит к увеличению коэффициента теплопередачи, но одновременно и к большему падению давления. Высокий уровень турбулентности способствует более интенсивному теплообмену, но также приводит к большим падениям давления. Для увеличения турбулентности могут использоваться пластины со специальным рельефом или завихрители.

Интенсивность теплообмена зависит также от физических характеристик теплоносителя (например, температуры и давления). Если в качестве основного теплоносителя используется воздух, он может увлажняться перед поступлением в теплообменник. Это способствует улучшению теплообмена.

Экологические преимущества

Энергосбережение за счет использования потоков отходящего тепла.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Применимость

Теплообменное оборудование широко и успешно применяется во многих отраслях промышленности. См. «Общая характеристика» выше, а также раздел 3.2.

Утилизация отходящего тепла с помощью теплообменного оборудования находит все более широкое применение, причем во многих случаях энергия, полученная таким образом, используется за пределами установки (см. обсуждение когенерации в разделе 3.4, а также Приложения 7.10.3 и 7.10.4). Утилизация отходящего тепла нецелесообразна в случае отсутствия потенциальных применений, соответствующих характеристикам этого тепла, включая временной график его производства.

Экономические аспекты

Период окупаемости соответствующих инвестиций может находиться в диапазоне от шести месяцев до 50 лет и более. В австралийской целлюлозно-бумажной промышленности срок окупаемости ряда сложных теплообменных систем с различными характеристиками составил 1–3 года.

Экономический эффект от внедрения подобного оборудования и период его окупаемости могут быть рассчитаны, например, с использованием методов, представленных в Справочном документе по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды.

В некоторых случаях, в особенности, когда производимое тепло используется за пределами предприятия, возможно получение финансирования в рамках инициатив в сфере энергетической политики (см. Приложение 7.13).

Мотивы внедрения

- снижение затрат на энергию, сокращение выбросов, во многих случаях – быстрая окупаемость инвестиций;
- улучшение характеристик технологических процессов, например, уменьшение загрязнения поверхностей (при использовании скребковых теплообменников), улучшение условий эксплуатации существующего оборудования и параметров потоков, уменьшение падения давления в системе (что способствует увеличению максимальной возможной производительности предприятия);
- снижение платежей за воздействие на окружающую среду.

Примеры

- отрасли, перечисленные в разделе «Общая характеристика»: химическая, пищевая, целлюлозно-бумажная, текстильная;
- целлюлозно-бумажная промышленность Австралии;
- предприятие Tait Paper в Инверуре, Абердиншир, Великобритания.

Справочная информация

[16, CIPEC, 2002], [26, Neisecke, 2003], [34, ADENE, 2005], [97, Kreith, 1997], [127, TWG]

3.3.1.1. Мониторинг состояния и техническое обслуживание теплообменников

Общая характеристика

Для мониторинга состояния трубок теплообменника могут применяться методы токовихревой (электроиндуктивной) дефектоскопии. Кроме того, часто используется моделирование работы теплообменника при помощи методов вычислительной гидродинамики (CFD). Для оценки внешних поверхностей теплообменников могут также использоваться тепловизоры (инфракрасные камеры, см. раздел 2.10.1), позволяющие выявлять значительные перепады температур или участки с повышенной температурой.

Серьезную проблему представляет загрязнение труб или поверхностей теплообменника. Часто для охлаждения используется речная или морская вода, и находящиеся в ней органические частицы могут, попадая в систему, образовывать отложения на поверхностях. Еще одной проблемой является формирование накипи – химических отложений, образованных, например, карбонатом кальция или магния (см. раздел 3.2.6). В процессе охлаждения также могут образовываться отложения, например, кремниевая накипь в алюминиевом производстве. См. «Примеры» ниже.

Экологические преимущества

Улучшение условий теплообмена, что способствует более эффективной утилизации тепла.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействие, связанное с реагентами, используемыми для водоподготовки.

Производственная информация

- пластинчатые теплообменники нуждаются в периодической чистке, которая требует разборки и сборки устройств;
- очистка трубчатых теплообменников может производиться при помощи реагентов (кислотная промывка), зондов или гидроочистки высокого давления (для двух последних подходов могут использоваться патентованные решения, поставляемые конкретными компаниями);

- вопросы эксплуатации и технического обслуживания систем охлаждения обсуждаются в Справочном документе по промышленным системам охлаждения.

Применимость

- применимо к любым теплообменникам;
- конкретные подходы выбираются исходя из конкретных условий.

Экономические аспекты

Техническое обслуживание теплообменного оборудования в соответствии с проектными спецификациями позволяет оптимизировать срок окупаемости инвестиций.

Мотивы внедрения

Поддержание производительности оборудования.

Примеры

Кислотная промывка: предприятие Eurallumina, Portovecompany, Италия. См. приложение 7.10.2.

Справочная информация

Инфракрасное оборудование: [162, SEI, 2006]

3.3.2. Тепловые насосы (в т.ч. механическая рекомпрессия пара)

Общая характеристика

Основное назначение теплового насоса – преобразование низкопотенциального тепла (характеризующегося низкой температурой и низким содержанием эксергии) в высокопотенциальное. Тепловой насос способен «перекачивать» тепло от искусственных источников на предприятии (технологических процессов), а также искусственных или естественных источников в окружающей среде (воздуха, грунта, воды). Полученное таким образом тепло может использоваться в бытовых, коммерческих или промышленных целях. Однако наиболее распространенным применением принципа теплового насоса являются разнообразные системы охлаждения, холодильники и т.п. В таких системах тепло «перекачивается» в обратном направлении – от охлаждаемой среды в окружающую среду. В некоторых случаях отводимое при этом тепло может использоваться для удовлетворения каких-либо потребностей в тепловой энергии. Тепловые насосы используются в процессах когенерации и тригенерации (последняя подразумевает возможность производства как тепла, так и холода с учетом сезонных вариаций спроса) (см. разделы 3.4 и 3.4.2).

Функционирование теплового насоса – «перекачка» тепла от источника к потребителю – требует внешнего источника энергии. В качестве такого источника может выступать привод любого типа – электродвигатель, двигатель внутреннего сгорания или турбина – или, в случае сорбционного теплового насоса, внешний источник тепла.

Компрессионный тепловой насос (замкнутого цикла)

Компрессионный тепловой насос, вероятно, является наиболее распространенным типом теплового насоса. Он применяется, например, в холодильниках, промышленных системах охлаждения, осушителях, а также системах отопления, использующих тепло окружающей среды – пород, грунта, воды или воздуха. Как правило, компрессионный тепловой насос приводится в действие электродвигателем, однако в крупных промышленных системах могут использоваться паровые турбины.

Компрессионный тепловой насос работает по принципу обратного цикла Карно, состоящего из четырех стадий – испарения, сжатия, конденсации и расширения – образующих замкнутый цикл.

Принцип действия компрессионного теплового насоса проиллюстрирован на рис.3.8. В испарителе циркулирующий жидкий рабочий агент (хладагент) испаряется при низком давлении и низкой температуре, отбирая тепло у источника (например, отходящее тепло какого-либо технологического процесса). Затем температура и давление рабочего агента повышаются в компрессоре, после чего агент конденсируется и охлаждается в конденсаторе, отдавая тепло

потребителю. Затем рабочий агент проходит через дроссель, его давление падает, и он вновь поступает в испаритель, замыкая цикл. В результате потенциал низкотемпературного тепла источника (например, сточных вод или отходящих газов) повышается, что позволяет использовать его в другом технологическом процессе или системе.

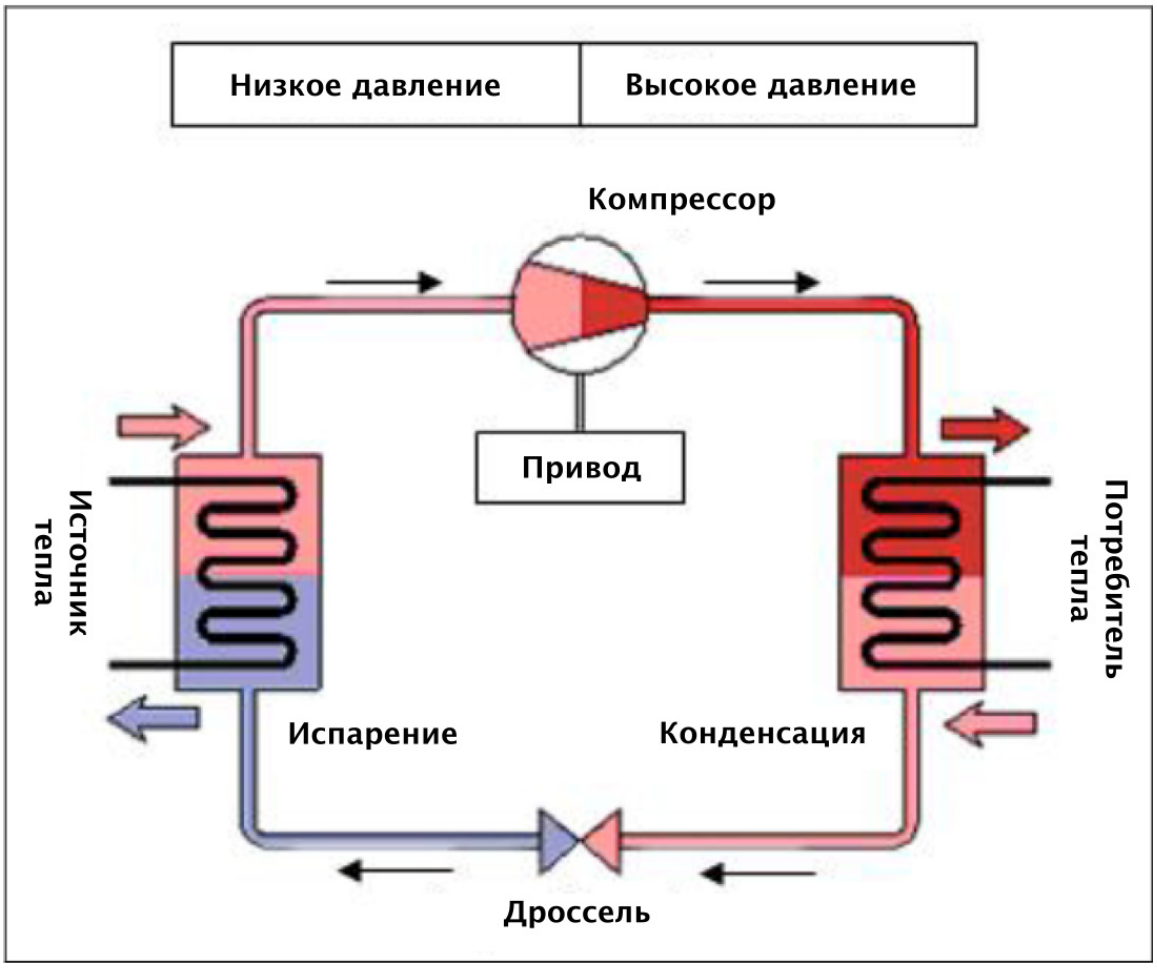


Рисунок 3.8: Схема компрессионного теплового насоса

[28, Berger, 2005]

Мерой эффективности теплового насоса является коэффициент преобразования или условный КПД насоса (coefficient of performance, COP). Эта величина представляет собой отношение подводимой потребителю (или, в случае системы охлаждения, отводимой от источника) тепловой энергии к энергии, затрачиваемой на приведение насоса в действие. В качестве последней может выступать, например, электроэнергия, потребляемая электроприводом.

Коэффициент преобразования (COP) компрессионного теплового насоса может быть выражен следующим образом:

$$COP_r = \frac{Q_c}{Q_h - Q_c} \qquad \textbf{Уравнение 3.6}$$

$$COP_{hp} = \frac{Q_h}{Q_h - Q_c} \qquad \textbf{Уравнение 3.7}$$

где COP_r и COP_{hp} представляют собой коэффициент преобразования для системы охлаждения и теплового насоса соответственно, а Q_h и Q_c – количества теплоты, подводимой к нагреваемой системе и отводимой от охлаждаемой системы соответственно.

В случае незначительных колебаний температуры нагреваемой и охлаждаемой сред КПД цикла Карно может считаться постоянным.

Для компрессионных тепловых насосов коэффициент преобразования может достигать 6, что означает, что насос производит 6 кВт·ч тепловой энергии на 1 кВт·ч электроэнергии, затраченной компрессором. В энергетических установках, работающих на основе сжигания отходов, отношение получаемой тепловой энергии к энергозатратам компрессора может быть около 5.

Следует, однако, отметить, что коэффициент преобразования адекватно отражает эффективность теплового насоса лишь в случае неизменных рабочих условий (прежде всего, температур сред). Поэтому этот показатель может оказаться неадекватным при оценке общей производительности теплового насоса на протяжении длительных промежутков времени, когда температура среды и другие условия могут меняться. На практике, только сезонный коэффициент производительности (seasonal overall efficiency, SOE) отражает долгосрочную эффективность теплового насоса. Кроме того, при оценке энергоэффективности последнего должны быть приняты во внимание любые дополнительные затраты энергии, связанные с его функционированием.

Для достижения высокой сезонной производительности теплового насоса необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- хорошее качество самого теплового насоса;
- высокая и постоянная температура источника тепла (выше, чем температура окружающего атмосферного воздуха);
- низкая температура «стока» (получателя) тепловой энергии;
- интеграция всех компонентов (т.е. теплового насоса, источника и получателя тепла, системы управления, системы распределения полученного тепла) в единую оптимизированную систему.

Абсорбционный тепловой насос

Абсорбционные тепловые насосы применяются не так широко, как компрессионные, особенно в промышленности. Как и насос компрессионного типа, абсорбционный насос первоначально был разработан для целей охлаждения. В коммерческих насосах данного типа рабочий агент (вода) циркулирует по замкнутому контуру, последовательно проходя через генератор, конденсатор, испаритель и абсорбер. Роль механического сжатия в данном случае выполняет абсорбция рабочего агента растворителем (в роли которого, как правило, выступает раствор солей, например, бромида лития, или аммиак) с последующим выпариванием.

Принцип работы абсорбционного теплового насоса проиллюстрирован на рис. 3.9. Газообразный рабочий агент, покидая испаритель, поглощается растворителем в абсорбере, в результате чего выделяется теплота абсорбции. Образовавшийся раствор, обогащенный рабочим агентом, подается в генератор при помощи насоса, обеспечивающего повышение давления. В генераторе происходит выпаривание рабочего агента из раствора за счет внешнего источника тепла (например, горелки на природном газе или сжиженном нефтяном газе, или за счет тепла, отходящего от другого процесса). Сочетание абсорбера и генератора действует как тепловой компрессор, обеспечивающий повышение температуры и давления. Покидая генератор под высоким давлением, рабочий агент поступает в конденсатор, где конденсируется, отдавая высокопотенциальное (высокотемпературное) тепло.

Энергопотребление насоса, перекачивающего растворитель в абсорбционном тепловом насосе, существенно ниже, чем энергопотребление насоса в компрессионном тепловом насосе (энергозатраты на перекачивание жидкости ниже, чем на сжатие и перекачивание газа).

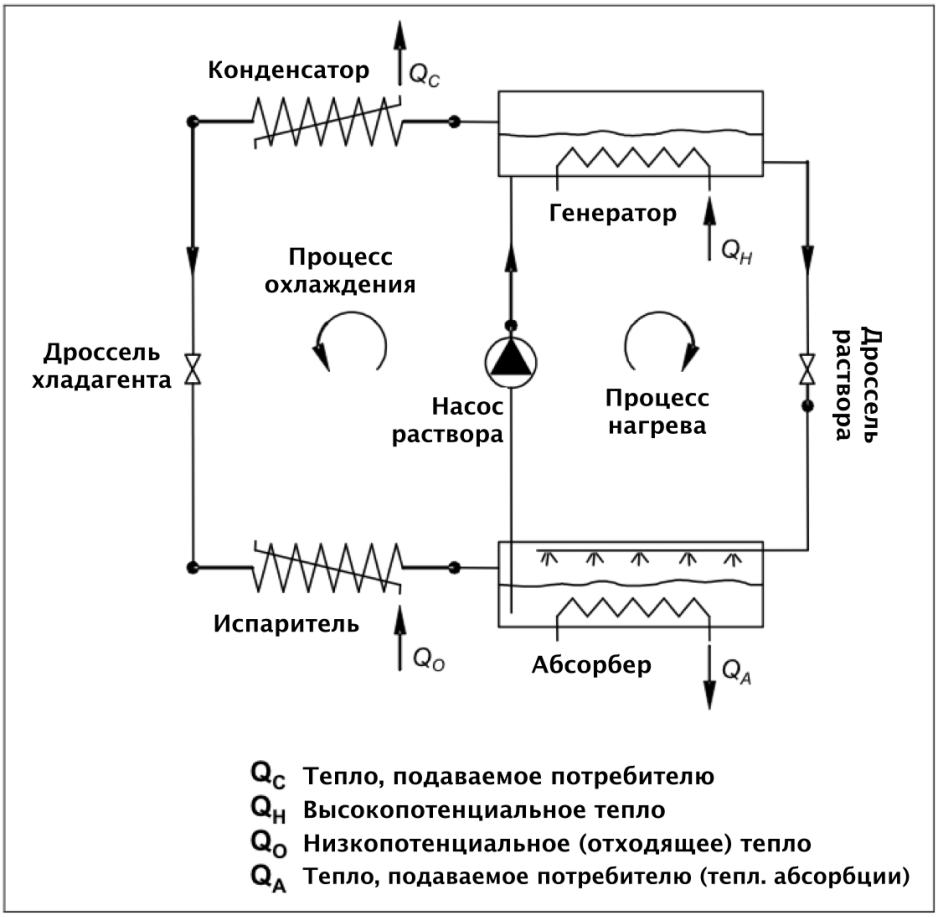


Рисунок 3.9: Схема абсорбционного теплового насоса

[28, Berger, 2005]

Мерой эффективности абсорбционного насоса является коэффициент преобразования или условный тепловой КПД, рассчитываемый как отношение количества тепла, получаемого потребителем, к затрачиваемой энергии топлива. Если в качестве источника энергии для генератора используется отходящее тепло, то соответствующая величина рассчитывается как отношение количества тепла, получаемого потребителем, к затратам отходящего тепла. Условный тепловой КПД современных абсорбционных тепловых насосов достигает величины 1,5. Отношение производимой насосом тепловой мощности и мощности абсорбера (за счет теплоты абсорбции), как правило, составляет около 1,6. Современные системы с рабочей смесью «вода – бромид лития» обеспечивают на выходе насоса температуру 100ºC и повышение температуры на 65ºC. Новое поколение систем будет обеспечивать более высокие температуры на выходе (до 260ºC) и большее повышение температуры.

Механическая рекомпрессия пара (МРП)

Процесс МРП представляет собой разомкнутый или полузамкнутый цикл, действующий по принципу теплового насоса. Пар низкого давления, отходящий от технологических процессов (например, котлов, испарителей или варочных камер) подвергается сжатию и затем в процессе конденсации отдает тепло при более высокой температуре, заменяя таким образом свежий пар или другую форму высокопотенциальной энергии. Как правило, энергозатраты при этом составляют лишь 5–10% тепла, получаемого таким образом. Упрощенная схема процесса механической рекомпрессии пара представлена на рис. 3.10.

Чистый пар может использоваться непосредственно, однако в случае загрязненного пара необходим промежуточный теплообменник (ребойлер). В этом случае система является полузамкнутой.

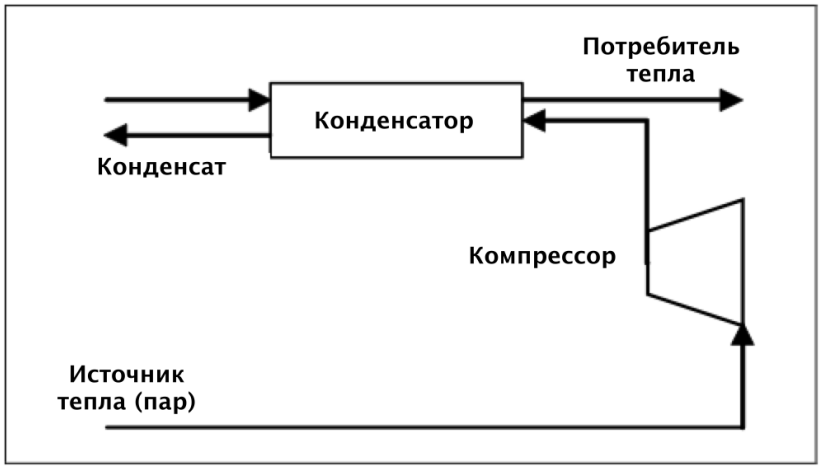


Рисунок 3.10: Схема процесса МРП

[18, Åsbland, 2005]

Поскольку процесс МРП позволяет устранить один или два теплообменника (испаритель и/или конденсатор, присутствующие в тепловых насосах замкнутого цикла), его эффективность весьма велика. И в этом случае мерой эффективности является коэффициент преобразования, представляющий собой отношение тепла, переданного потребителю, к энергопотреблению компрессора. На рис. 3.11 показаны характерные значения коэффициента преобразования процесса МРП в зависимости от величины повышения температуры. Как правило, значения коэффициента преобразования для МРП находятся в диапазоне 10–30.

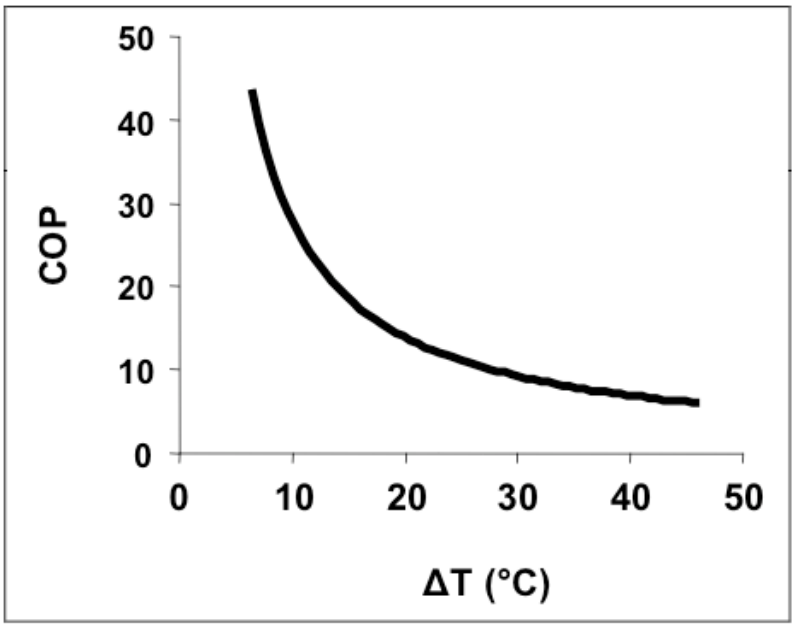


Рисунок 3.11: Коэффициент преобразования (COP) в зависимости от величины повышения температуры для типичного процесса МРП

[18, Åsbland, 2005]

Критерий, определяющий приемлемость использования МРП на предприятии, определяется уравнением 3.8:

$$COP > \frac{\eta_{кот.}}{\eta_{эл.ст.}\eta_{распр.}}$$ **Уравнение 3.8.**

В уравнении 3.8:

$\eta_{кот.}$ – КПД котла на данном предприятии;

$\eta_{эл.ст.}$ – КПД электростанций, производящих энергию для национальной сети;

$\eta_{распр.}$ – КПД распределительных сетей, отражающий уровень потерь в них.

Таким образом, чтобы использование МРП было оправданным, коэффициент преобразования должен превышать, скажем, 3, если электроэнергия производится на конденсационной ТЭС. На практике коэффициент преобразования всех систем МРП существенно превышает этот уровень.

Экологические преимущества

Тепловой насос позволяет утилизировать низкопотенциальное тепло с меньшими затратами первичной (высококачественной) энергии, чем количество энергии, поставляемое потребителю (конкретное соотношение зависит от коэффициента преобразования и выполнения условий, обеспечивающих стабильную сезонную производительность устройства). Это создает возможности для использования энергии низкопотенциального тепла, например, для отопления помещений на предприятии или за его пределами, в т.ч. в жилом секторе. Результатом является сокращение затрат первичной энергии и выбросов, связанных с ее производством, к которым, в зависимости от применяемых методов, могут относиться диоксид углерода (CO_2), диоксид серы (SO_2), а также оксиды азота (NOx).

Эффективность любого теплового насоса существенно зависит от требуемой величины повышения температуры – разницы температур на входе и выходе системы.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

При использовании рабочего агента с негативным воздействием на окружающую среду (в т.ч. обладающего потенциалом глобального потепления) – утечки хладагента в атмосферу при эксплуатации или выводе из эксплуатации компрессионных и сорбционных тепловых насосов.

Производственная информация

См. «Общая характеристика» выше.

Применимость

Компрессионные системы: традиционно используемые рабочие агенты ограничивают температуру на выходе системы величиной около 120 °C.

Абсорбционные системы: системы, использующие смесь воды и бромида лития, могут обеспечивать температуру на выходе до 100°C и повышение температуры на величину до 65°C. Системы нового поколения характеризуются более высокой температурой на выходе (до 260 °C) и величиной повышения температуры.

Современные системы МРП работают с источниками тепла, имеющими температуру 70–80°C, и производят тепло с температурой 110–150°C, в некоторых случаях – до 200°C. Чаще всего в таких системах применяется водяной пар, однако могут использоваться и пары других веществ, например, в нефтехимической промышленности.

Ситуация с системами когенерации (одновременное производство тепла и электроэнергии) является более сложной. Например, при использовании турбин с противодавлением необходимо учитывать также потери работы турбины.

Применимость

Тепловые насосы традиционно используются в холодильном оборудовании и системах охлаждения (где отводимое тепло часто рассеивается, см. раздел 3.9). Это служит подтверждением того, что данная технология хорошо освоена и является надежной, но не ограничивает области ее применения. Тепловые насосы могут использоваться как средство утилизации тепла для широкого спектра возможных применений, включая:

- отопление помещений;
- нагрев и охлаждение технологических потоков;
- нагрев воды для мойки, уборки и использования в санитарно-гигиенических целях;
- производство пара;
- сушка;

- выпаривание;
- дистилляция
- концентрирование.

Они также могут использоваться в системах когенерации и тригенерации.

В промышленности отходящее тепло чаще всего связано с потоками охлаждающих жидкостей, стоков, конденсата, влаги, а также тепла, отводимого от конденсаторов в системах охлаждения. В силу неравномерности производства отходящего тепла стабильная эксплуатация тепловых насосов может потребовать установки крупных (теплоизолированных) аккумуляторов тепла.

Сорбционные тепловые насосы могут применяться в системах охлаждения на предприятиях, где образуется большое количество отходящего тепла.

Большинство существующих систем МРП используются для таких технологических операций, как дистилляция, выпаривание и сушка, хотя производство пара для парораспределительных сетей также является распространенным применением.

Тепловые насосы используются на промышленных предприятиях относительно редко. Как правило, решение об их установке принимается в процессе проектирования новых объектов или планирования крупной модернизации существующих (см. раздел 2.3).

Использование тепловых насосов является более рентабельным в условиях высоких цен на топливо. Как правило, тепловые насосы являются более сложными, чем системы производства тепла за счет сжигания ископаемого топлива, хотя данная технология достаточно надежна.

Экономические аспекты

Экономические аспекты использования тепловых насосов существенно зависят от местных условий. Срок окупаемости соответствующих инвестиций в промышленности составляет не менее 2 лет. Это связано как с низкими ценами на энергию, снижающими экономический эффект утилизации тепла, так и со значительным объемом необходимых капитальных инвестиций.

Рентабельность систем МРП также зависит как от цен на топливо и электроэнергию, так и от капитальных затрат. Так, капитальные затраты на внедрение системы МРП на предприятии в шведском городе Нюмолла составили около 4,5 млн. евро. Эти затраты были частично профинансированы за счет гранта в размере почти 1 млн. евро, предоставленного шведским Агентством по охране окружающей среды. Введенная в эксплуатацию система обеспечивает экономию в размере около 1 млн. евро в год.

Мотивы внедрения

- снижение эксплуатационных затрат, связанных с энергопотреблением;
- внедрение системы может предоставить возможность для расширения объема производства без инвестиций в установку нового котла в условиях, когда мощность котлов является лимитирующим фактором.

Примеры

- предприятие Dåvamyren, г. Умео, Швеция: компрессионный тепловой насос на предприятии по производству энергии за счет сжигания отходов;
- предприятие Renova Göteborg, Швеция: абсорбционный тепловой насос;
- предприятия Borlänge, Halmstad и Tekniska Verken, г. Линчепинг, Швеция, производство энергии за счет сжигания отходов и биотоплива: установки МРП;
- на предприятии по производству сульфитов компании StoraEnso в г. Нюмолла, Швеция, в 1999 г. была установлена система механической рекомпрессии пара. Источником низкопотенциального тепла служит отходящий пар процесса подогрева черного щелока перед выпариванием. Этот загрязненный пар, имеющий температуру 84ºC, конденсируется в паро-паровом теплообменнике (ребойлере), где производится чистый пар с температурой на 5ºC ниже и давлением 0,45 бар (м). Двухступенчатый компрессор повышает давление пара до величины около 1,7 бар (м). После устранения перегрева при

помощи впрыскивания воды расход произведенного пара составляет 21 т/ч. Полученный пар распределяется по сети низкого давления и используется для подогрева технологических потоков перед выпариванием, подогрева питательной воды, а также в системе централизованного отопления. Механический компрессор приводится в действие турбиной с противодавлением; мощность на валу составляет около 2 МВт. Ввод системы в эксплуатацию потребовал устранения некоторых проблем, однако дальнейший опыт ее использования рассматривается предприятием как весьма положительный. Внедрение системы МРП позволило снизить потребление мазута котлами на 7000–7500 т/год;

- метод МРП был адаптирован для малых производственных предприятий, где компрессор может приводиться в действие простым электродвигателем.

Справочная информация

[21, RVF, 2002], [26, Neisecke, 2003], [28, Berger, 2005], [18, Åsblad, 2005], [114, Caddet Analysis Series No. 28, 2001], [115, Caddet Analysis Series No. 23], [116, IEA Heat Pump Centre]

3.3.3. Системы охлаждения и холодильные установки

Системы охлаждения и холодильные установки (чиллеры) подробно обсуждаются в Справочном документе по промышленным системам охлаждения (ICS BREF). Данные термины относятся к системам, предназначенным для отведения избыточного тепла от любой среды посредством теплообмена с водой или атмосферным воздухом с целью понижения температуры охлаждаемой среды по сравнению с температурой окружающей среды. В некоторых холодильных установках в качестве хладагента используется снег или лед. ICS BREF охватывает лишь часть существующих систем охлаждения и холодильных установок; кроме того, в нем не рассматриваются вопросы, связанные с использованием конкретных хладагентов, например, аммиака, CO_2, фторсодержащих газов, ХФУ, ГХФУ[34] и т.д. Кроме того, в документе не рассматриваются холодильные и барометрические конденсаторы прямого контакта как специфичные для определенных технологических процессов.

В ICS BREF рассматриваются следующие типы или конфигурации промышленных систем охлаждения:

- прямоточные системы охлаждения (с градирнями или без градирен);
- оборотные системы с незамкнутым контуром (с влажными градирнями);
- системы с замкнутым контуром:
    - воздушные системы охлаждения;
    - системы водяного охлаждения с замкнутым контуром;
- комбинированные «мокрые»/«сухие» (гибридные) системы охлаждения:
    - гибридные системы с незамкнутым контуром;
    - гибридные системы с замкнутым контуром.

Применения промышленных систем охлаждения, используемые в них технологии и методы эксплуатации, а также термодинамические характеристики отдельных процессов характеризуются огромным разнообразием. Однако ICS BREF дает следующие рекомендации общего характера:

"Прежде всего, первичный подход НДТ должен быть направлен на оптимизацию технологического процесса, нуждающегося в охлаждении. Охлаждение технологических процессов может рассматриваться как управление потоками тепловой энергии и как составная часть общего энергетического менеджмента предприятия. В рамках превентивного подхода отправной точкой должен быть анализ процесса, нуждающегося в рассеянии тепла, с приоритетной целью снижения потребности в отведении тепловой энергии. По сути, рассеяние тепла представляет собой непроизводительное расходование энергии и, как таковое, не может

[34] ХФУ и ГХФУ представляют собой соединения, разрушающие озоновый слой. Они постепенно выводятся из использования и заменяются такими хладагентами, как аммиак, CO_2, другие фторсодержащие газы и т.д..

считаться НДТ. Изучение возможностей для использования избыточного тепла в рамках того же процесса всегда должно быть первым этапом оценки потребностей в охлаждении.

Вторым этапом, имеющим большое значение, является проектирование и строительство системы охлаждения, в особенности, при строительстве нового предприятия. Поэтому после того, как для системы определены количество отходящего тепла и соответствующий уровень температуры, а дальнейшее снижение количества отходящего тепла не представляется возможным, в свете потребностей технологического процесса может быть сделан выбор принципиального типа системы охлаждения».

В табл. 3.18, источником которой является ICS BREF, представлены первичные подходы НДТ, соответствующие некоторым характеристикам технологических процессов.

Характеристика процесса	**Критерии оптимизации**	**Первичный подход НДТ**	**Примечание**	**Раздел ICS BREF**
Высокая температура рассеиваемого тепла (>60ºC)	Сокращение расхода воды и реагентов, повышение общей энергоэфф.	(Предварительное) сухое воздушное охлаждение	Лимитирующими факторами являются энергоэфф. и размер системы охлаждения	Раздел 1.1/1.3
Средняя температура рассеиваемого тепла (25–60ºC)	Повышение общей энергоэфф.	Неочевиден	Зависит от конкретных условий	Раздел 1.1/1.3
Низкая температура рассеиваемого тепла (<25ºC)	Повышение общей энергоэфф.	Водяное охлаждение	Выбор места размещения	Раздел 1.1/1.3
Низкие или средние температура рассеиваемого тепла и мощность	Оптимизация общей энергоэфф., сокращение расхода воды и видимого факела	«Мокрые» и гибридные системы охлаждения	«Сухие» системы применимы в меньшей степени вследствие большей потребности в пространстве и меньшей энергоэффективности	Раздел 1.4
Охлаждение опасных веществ, связанных со значительным риском для окружающей среды	Снижение риска утечек	Система косвенного охлаждения	Принять необходимость более сложного подхода	Раздел 1.4 и Приложение VI

Таблица 3.18: Примеры требований, обусловленных особенностями технологического процесса, согласно ICS BREF

Определенные подходы диктуются не только характеристиками технологического процесса, но и особенностями местоположения объекта, как показано в табл. 3.19. Это особенно актуально при проектировании нового предприятия.

Характеристика места расположения	Условия	Первичный подход НДТ	Примечание	Раздел ICS BREF
Климат	Требуемая проектная температура	Оценить вариации температуры по сухому и мокрому термометру	При высокой температуре по сухому термометру сухое воздушное охлаждение, как правило, является менее энергоэффективным	Раздел 1.4.3
Пространство	Ограниченная территория для размещения объекта	(Предварительно смонтированные) конструкции для размещения на крыше	Ограничения на размеры и массу системы охлаждения	Раздел 1.4.2
Доступность поверхностных водных ресурсов	Ограниченная доступность	Оборотные системы	«Мокрые», «сухие» или гибридные в зависимости от конкретных условий	Раздел 2.3 и 3.3
Чувствительность принимающего водного объекта к тепловой нагрузки	Работа в пределах ассимиляционной способности объекта	• Оптимизация степени повторного использования тепла • Использование оборотных систем • Выбор площадки (новая система охлаждения)		Раздел 1.1
Ограниченная доступность подземных вод	Минимизация забора подземных вод	В отсутствие альтернативного источника воды – воздушное охлаждение	Принять необходимость повышенных энергозатрат	Раздел 3.3
Прибрежная область	Большая мощность: > 10 $МВт_т$	Прямоточные системы	Избегать влияния теплового шлейфа сбрасываемых вод на водозабор; например, с использованием температурной стратификации – посредством глубоководного водозабора ниже зоны смешения	Разделы 1.2.1 и 3.2, Приложение XI.3
Конкретные требования, связанные с местоположением площадки	В случае требований по ограничению видимого факела и высоты градирен	Использование гибридных[35] систем охлаждения	Принять необходимость повышенных энергозатрат	Глава 2

Таблица 3.19: Примеры подходов НДТ, обусловленных особенностями местоположения объекта, согласно ICS BREF

[35] Гибридные системы охлаждения отличаются особой конструкцией градирен, допускающей работы как в «мокром», так и в «сухом» режиме, что позволяет уменьшить видимый факел. Возможность эксплуатации систем (в особенности, небольших модульных систем) в «сухом» режиме во время периодов низкой температуры атмосферного воздуха позволяет снизить годовой расход воды и средние размеры факела.

Оптимизация системы охлаждения с целью снижения ее воздействия на окружающую среду представляет собой сложный процесс, который не может быть сведен к простому сравнению некоторых количественных характеристик. Иными словами, механическое комбинирование методов, выбранных из таблиц НДТ, не обязательно позволяет получить систему охлаждения, отвечающую принципам НДТ. **Окончательное решение, отвечающее этим принципам, всегда будет зависеть от конкретных условий**. Тем не менее, предполагается, что на основе практического опыта промышленности могут быть выработаны рекомендации по НДТ, там, где это возможно, – количественного характера.

Справочная информация

[237, Fernández-Ramos, 2007]

3.4. Когенерация

[65, Nuutila, 2005], [97, Kreith, 1997].

Директива Европейского Сообщества 2004/8/ЕС о развитии когенерации определяет когенерацию как «одновременное производство в рамках одного процесса тепловой энергии и электрической и/или механической энергии». Когенерация известна также под названием «комбиниованного производства тепловой и электрической энергии». Существует значительный интерес к когенерации, поддержанный на уровне Европейского Сообщества посредством принятия Директивы 2003/96/ЕС о налогообложении энергии, создающей благоприятные условия для развития когенерации. Подготовленный Европейской Комиссией «Зеленый» доклад об энергоэффективности (the Green Paper on energy efficiency) отмечает масштабы потерь при производстве и передаче электроэнергии и указывает на утилизацию тепла и развитие когенерации на местном уровне как на возможные способы сокращения этих потерь.

В настоящем разделе рассматриваются различные методы когенерации, а также их применимость в различных ситуациях. В настоящее время доступны решения и методы, делающие возможным экономически эффективное использование когенерации в малой энергетике.

3.4.1. Различные методы когенерации

Когенерационные электростанции обеспечивают одновременное производство тепловой и электрической энергии. В табл. 3.20 представлены различные методы когенерации и характерное для них соотношение производимой электрической и тепловой энергии.

Технология когенерации	Характерное соотношение электрической и тепловой энергии
Парогазовые установки (газовые турбины в сочетании с утилизацией отходящего тепла и паровой турбиной одного из типов, перечисленных ниже)	0,95
Паротурбинные установки (с противодавлением)	0,45
Конденсационные турбины с отбором пара (с противодавлением, регулируемым или нерегулируемым отбором пара)	0,45
Газовые турбины с утилизацией отходящего тепла	0,55
Двигатели внутреннего сгорания (поршневые двигатели Отто или дизельные двигатели с утилизацией тепла)	0,75
Микротурбины	
Двигатели Стирлинга	
Топливные элементы (с утилизацией тепла)	
Паровые двигатели	
Органический цикл Ренкина	
Другие типы	

Таблица 3.20: Технологии когенерации и характерные для них величины соотношения электрической и тепловой энергии

[146, ЕС, 2004]

Важной характеристикой процесса когенерации является отношение количества произведенной электроэнергии к количеству произведенной тепловой энергии. Эта величина меньше 1 в том случае, если установка производит меньше электрической энергии, чем тепловой. При анализе установок следует использовать значения соотношения электрической и тепловой энергии, основанные на фактических данных.

При выборе технологии когенерации и масштаба установки могут использоваться данные о динамике потребностей в энергии на протяжении года.

Когенерация на основе сжигания отходов

Как Справочный документ по сжиганию отходов (WI BREF), так и Директива WFD[36] содержат коэффициенты пересчета и величины, которые могут использоваться для:

- расчета коэффициента использования энергии и/или КПД установки;
- пересчета и суммирования различных типов энергии, что может использоваться, например, при сравнительном анализе предприятий.

Это позволяет сопоставлять и суммировать данные о производстве энергии в различных формах, например, в форме тепла, пара и электроэнергии. В частности, с помощью этих показателей можно сравнивать эффективность производства энергии на данном мусоросжигательном предприятии с эффективностью внешних энергетических предприятий. В частности, средний европейский КПД при производстве электроэнергии на электростанциях составляет 38% (см. также Приложение 7.10.3), при производстве тепла – 91 %. При использовании энергии, например, топлива или пара, максимально возможный коэффициент использования составляет 100%. При сравнительном анализе следует принимать во внимание разницу между единицами измерения энергии (МВт·ч, МВт·$ч_э$, МВт·$ч_т$).

Системы с противодавлением

Простейшим методом когенерации является схема, использующая т.н. «турбины с противодавлением». При этом как электрическая, так и тепловая энергия производится в паровой турбине (см. рис. 3.12). Электрическая мощность станций, использующих турбины с противодавлением, как правило, составляет несколько десятков мегаватт. Типичное соотношение производимой электрической и тепловой энергии составляет 0,3 – 0,5. Мощность газотурбинных когенерационных электростанций, как правило, несколько ниже, чем паровых, однако соотношение электрической и тепловой энергии во многих случаях достигает 0,5.

Мощность установок с противодавлением, используемых в промышленности, зависит от энергопотребления технологических процессов, а также свойств пара высокого давления, среднего давления и противодавления. Важной характеристикой систем с противодавлением является соотношение электрической и тепловой энергии.

В когенерационных установках, обслуживающих централизованные системы теплоснабжения (теплоэлектроцентралях или ТЭЦ), покидающий турбину пар конденсируется в теплообменниках и направляется потребителям в виде горячей воды. В когенерационных установках промышленных предприятий отработавший в турбине пар возвращается на предприятие для использования его тепловой энергии. На ТЭЦ противодавление пара ниже, чем на промышленных когенерационных установках с противодавлением. Поэтому соотношение производимой электрической и тепловой энергии в случае промышленных когенерационных установок ниже, чем в случае ТЭЦ.

[36]Рамочная директива ЕС по отходам.

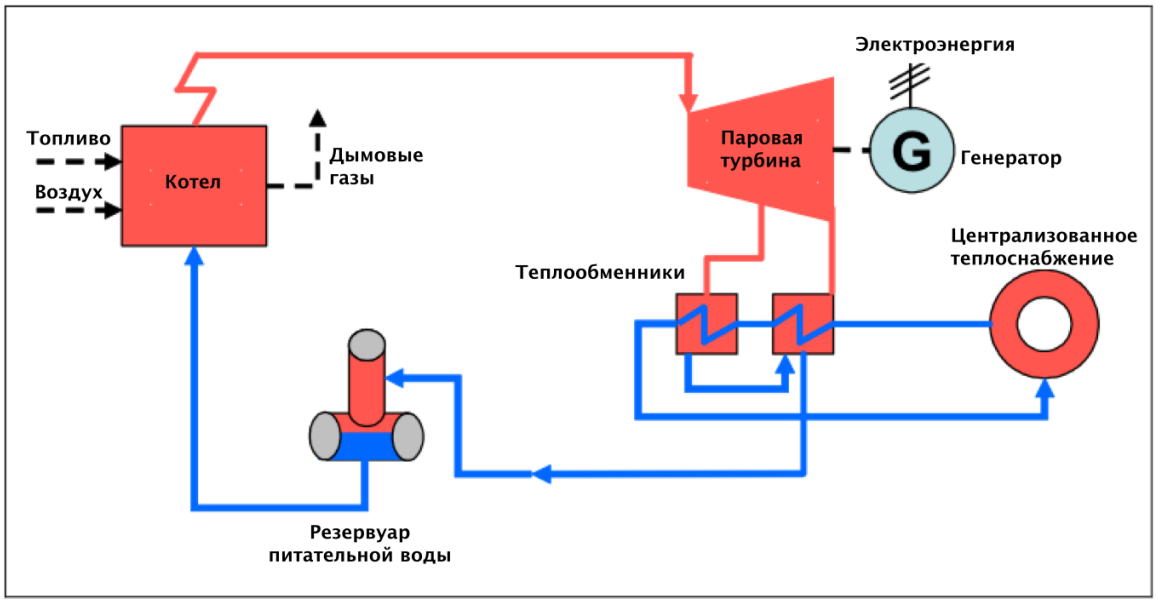


Рисунок 3.12: Когенерационная установка с противодавлением

[65, Nuutila, 2005]

Конденсационные системы с отбором пара

В отличие от традиционной конденсационной электростанции, производящей только электроэнергию, в конденсационной системе с отбором пара часть пара отбирается из турбины для использования в качестве источника тепла (см. рис. 3.13). Вопросы, связанные с распределением и использованием пара, обсуждаются в разделе 3.2.

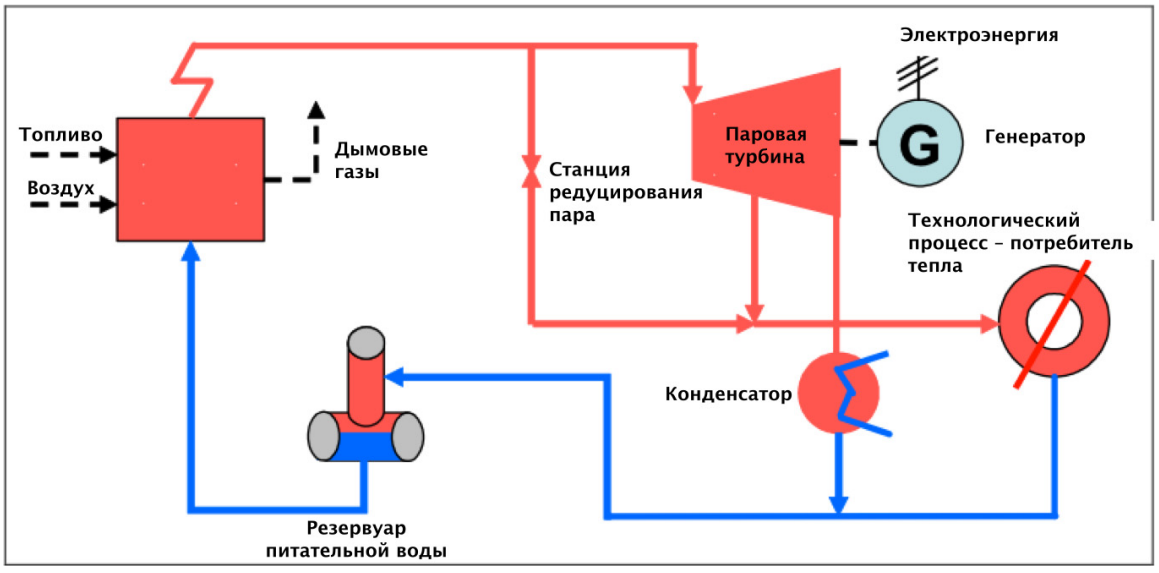


Рисунок 3.13: Когенерационная установка с отбором пара

[65, Nuutila, 2005]

Газотурбинные системы с утилизацией тепла

В газотурбинных системах с утилизацией тепла тепловая энергия производится за счет энергии горячих дымовых газов турбины в котле-утилизаторе (см. рис. 3.14). В качестве топлива для таких установок, как правило, используются природный газ, нефть или сочетание этих видов топлива. Кроме того, в качестве топлива для газовых турбин могут использоваться продукты газификации твердого или жидкого топлива.

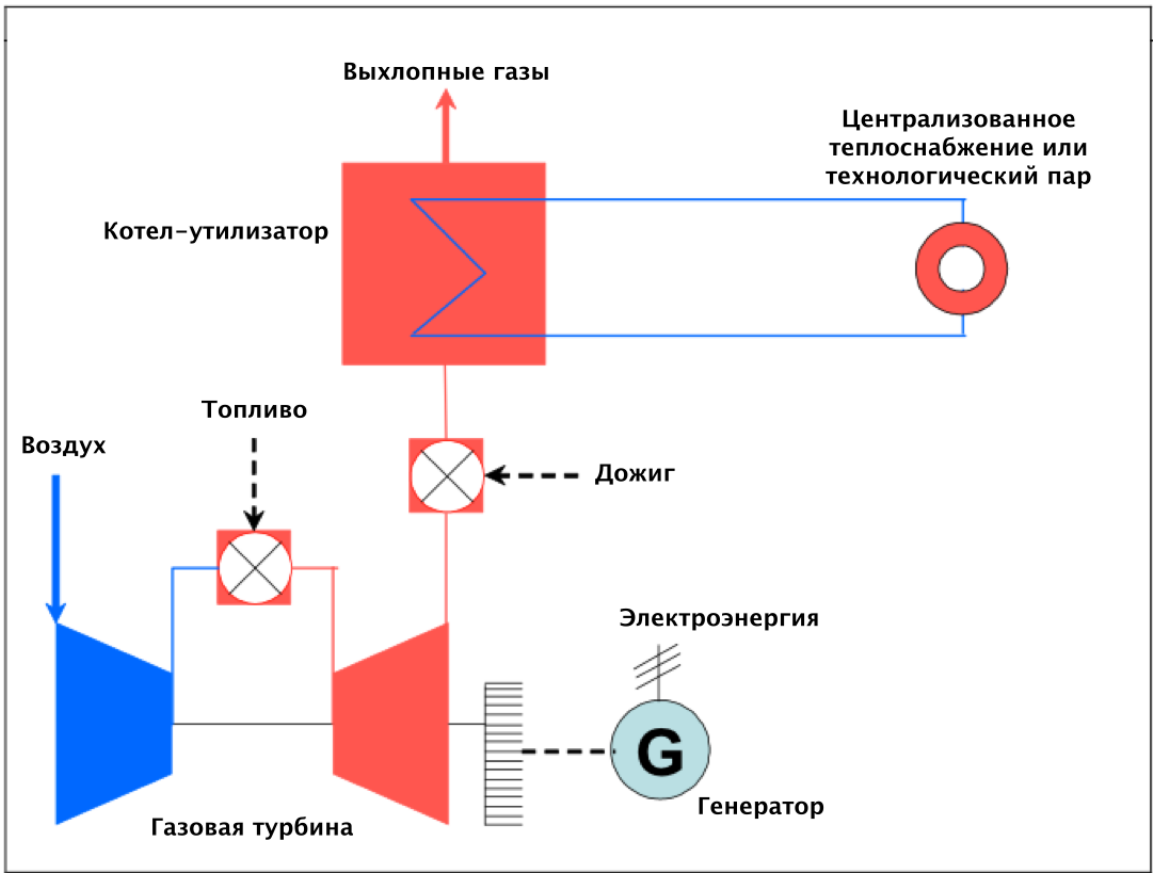


Рисунок 3.14: Газотурбинная когенерационная установка с утилизацией тепла

[65, Nuutila, 2005]

Парогазовые системы

Парогазовая установка (установка комбинированного цикла) состоит из одной или нескольких газовых турбин, соединенных с одной или несколькими паровыми турбинами (см. рис. 3.15). Во многих случаях такие установки используются для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Тепло выхлопных газов газовой турбины утилизируется и используется для производства пара, приводящего в действие паровые турбины. Как правило, тепло, полученное в результате утилизации, используется для производства дополнительной электроэнергии, а не для отопления или нагрева. Преимуществами подобных систем являются высокое отношение электрической к тепловой энергии, а также высокий КПД. Газификация твердого топлива – одно из перспективных направлений развития технологий сжигания – также используется в сочетании с парогазовыми системами и когенерацией. Газификация топлива позволяет значительно снизить выбросы оксидов серы и азота по сравнению с традиционным сжиганием твердого топлива благодаря очистке газа после газификации, но до сжигания в турбине.

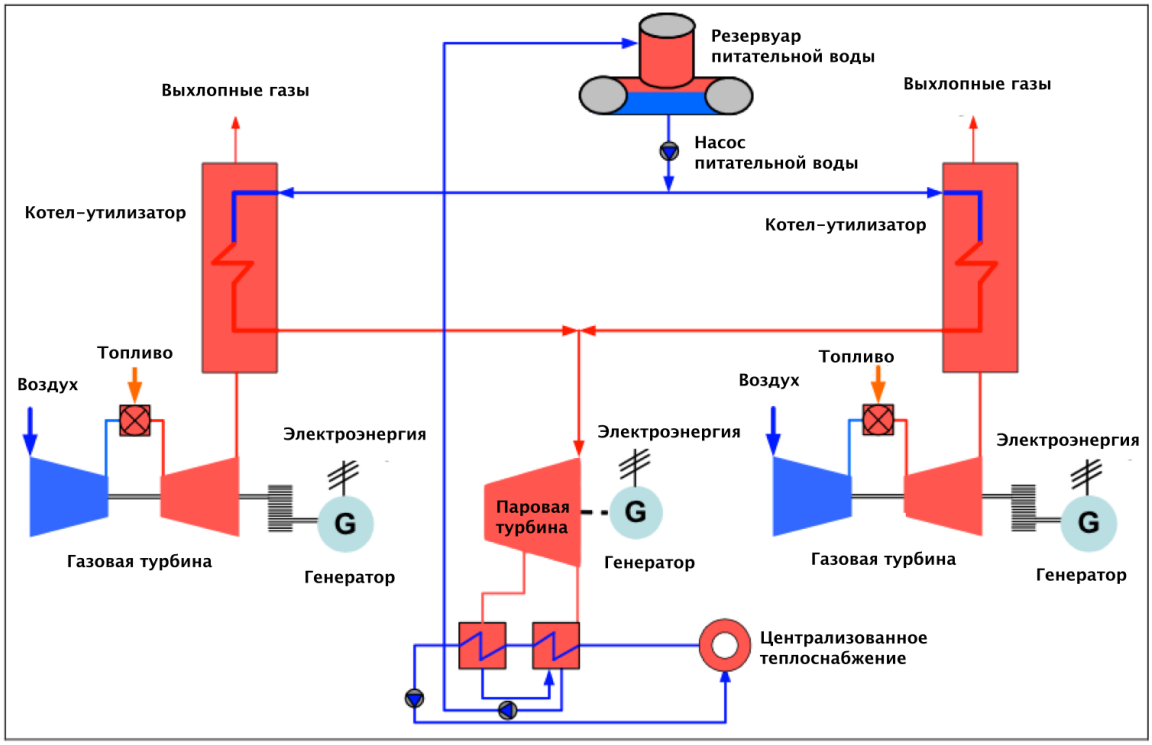


Рисунок 3.15: Парогазовая когенерационная установка

[65, Nuutila, 2005]

Двигатели внутреннего сгорания

При использовании двигателей внутреннего сгорания (поршневых двигателей) возможна утилизация тепла смазочного масла, охлаждающей воды, а также выхлопных газов, как показано на рис. 3.16.

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) энергия химических связей топлива преобразуется в тепловую энергию в результате сжигания. Образующиеся при сгорании газы расширяются в цилиндре, приводя в движение поршень. Механическая энергия движения поршня передается маховику посредством коленчатого вала, а затем преобразуется в электроэнергию при помощи генератора переменного тока. Благодаря непосредственному преобразованию энергии высокотемпературного теплового расширения в механическую, а затем электрическую энергию двигатели внутреннего сгорания характеризуются наибольшим тепловым КПД (производством электроэнергии на единицу использованного топлива) среди одноступенчатых (первичных) двигателей. Как следствие, они отличаются и наименьшими удельными выбросами CO_2 на единицу произведенной энергии.

Мощность существующих установок на основе двухтактных двигателей с низкими оборотами (<300 об./мин.) может достигать 80 МВт$_э$. Мощность существующих четырехтактных систем со средними оборотами (300 <n <1500 об./мин.) достигает 20 МВт$_э$. Такие установки, как правило, используются в качестве базовых систем для постоянного производства энергии. Четырехтактные системы с высокими оборотами (>1500 об./мин.) имеют мощность 3 МВт$_э$ и обычно используются в качестве пиковых источников.

Наиболее распространенными типами двигателей внутреннего сгорания являются дизель, двигатель с искровым зажиганием и двухтопливный двигатель. Установки внутреннего сгорания могут использовать широкий диапазон видов газообразного и жидкого топлива, включая природный, попутный, и шахтный газы, газ, образующийся на полигонах ТБО, биогаз, продукты пиролиза, жидкое биотопливо, дизельное топливо, сырую нефть, тяжелый мазут, топливные эмульсии и отходы нефтепереработки.

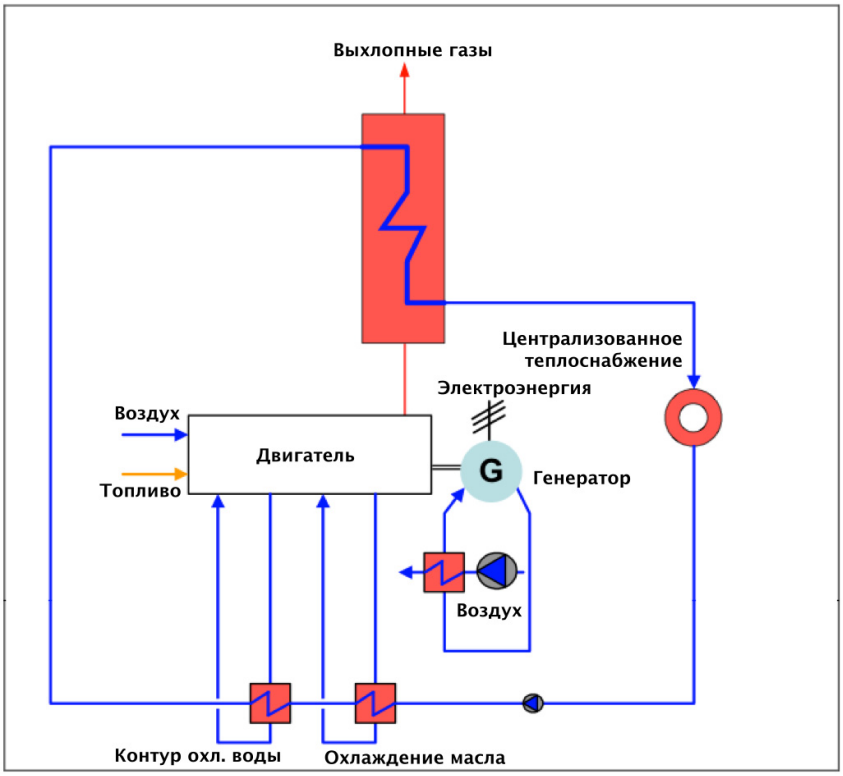


Рисунок 3.16: Когенерационная установка на основе двигателя внутреннего сгорания

[65, Nuutila, 2005]

Как правило, стационарная ДВС-электростанция (т.е., станция, не являющаяся передвижным генератором) состоит из нескольких энергоблоков, работающих параллельно. Ряд независимо работающих установок в сочетании с высоким КПД в условиях неполной нагрузки обеспечивают надежность и гибкость энергоснабжения, позволяя наилучшим образом удовлетворять быстро меняющиеся потребности. Время запуска подобных систем из холодного состояния невелико по сравнению с аналогичной характеристикой парогазовых или паровых электростанций на угольном, нефтяном или газовом топливе. Запущенная система на основе ДВС способна оперативно реагировать на изменения нагрузки, при необходимости обеспечивая быструю стабилизацию параметров сети.

С двигателями внутреннего сгорания могут использоваться замкнутые системы водяного охлаждения, что делает водопотребление соответствующих электростанций крайне низким.

Компактная конструкция ДВС-систем делает их пригодными для организации распределенного производства тепла и электроэнергии в непосредственной близости от конечных потребителей в городских и промышленных районах. Это позволяет снизить связанные с распределением потери в трансформаторах, линиях электропередач и трубопроводах. Типичные потери в распределительных и передающих сетях при централизованном производстве электроэнергии составляют 5–8% произведенной энергии; потери тепла в муниципальных сетях централизованного теплоснабжения составляют менее 10%. Следует иметь в виду, что наибольшие потери имеют место в сетях низкого напряжения, а также в соединениях на уровне конечного потребителя. С другой стороны, производство электроэнергии на крупных централизованных электростанциях, как правило, является более эффективным.

Высокий КПД одноступенчатой генерации на основе ДВС в сочетании с относительно высокой температурой выхлопных газов и охлаждающей воды делает эту технологию идеальным решением для когенерации. Как правило, в выхлопных газах содержится около 30% энергии, выделяющейся при сжигании топлива, а в потоках охлаждающей воды – около 20%. Энергия выхлопных газов может быть утилизирована при помощи котла-утилизатора или теплобменника, используемых для производства пара, горячей воды или горячего масла. Кроме того, горячие выхлопные газы могут быть непосредственно или косвенно (при помощи теплообменника) использованы в различных технологических процессах, например, для сушки.

Потоки охлаждающей воды могут быть разделены на высокотемпературный и низкотемпературный контуры. Потенциал утилизации энергии воды зависит от минимальной температуры, отвечающей потребностям потребителя тепла. Потенциал охлаждающей воды может быть использован практически полностью в централизованной системе теплоснабжения с низкими температурами возврата. Утилизация тепла, отводимого при охлаждении двигателя, в сочетании с котлом-утилизатором энергии выхлопных газов и экономайзером, способна обеспечить использование (в форме электроэнергии и тепла) до 85% энергии жидкого топлива и до 90% энергии газообразного топлива.

Тепловая энергия может поставляться конечному потребителю, в зависимости от его потребностей, в форме пара (вплоть до перегретого пара с давлением до 20 бар), горячей воды или горячего масла. Тепло может также использоваться в абсорбционном процессе охлаждения для производства охлажденной воды.

Возможно также использование абсорбционных тепловых насосов для повышения температуры охлаждающей воды низкотемпературного контура до более высокого уровня, позволяющего использовать эту воду в системах централизованного теплоснабжения с высокой температурой возврата. См. раздел 3.4.3.

Для компенсации краткосрочных рассогласований между графиком потребностей в электроэнергии и тепле/холоде могут использоваться аккумуляторы горячей и холодной воды.

Типичный КПД (по отношению к энергии топлива) при использовании двигателей внутреннего сгорания для производства электроэнергии находится в диапазоне 40–48%; в схемах когенерации с эффективной утилизацией тепла КПД может достигать 85 – 90%. В схемах тригенерации необходимая гибкость может быть достигнута за счет поддержания запасов горячей и охлажденной воды, а также резервных (пиковых) мощностей – компрессорных холодильных установок и работающих за счет непосредственного сжигания топлива резервных водогрейных котлов.

Экологические преимущества

Использование когенерации связано со значительными экономическими и экологическими преимуществами. Когенерационные установки комбинированного цикла обеспечивают максимально эффективное использование энергии топлива за счет одновременного производства электрической и тепловой энергии с минимальными потерями. Подобные установки обеспечивают эффективность использования энергии топлива (КПД) до 80–90 %, в то время как для традиционных конденсационных ТЭС аналогичная величина находится в диапазоне 35–45 %, а для электростанций комбинированного цикла (без когенерации) она не превышает 58 %.

Высокий КПД процессов когенерации обеспечивает значительные объемы энергосбережения и сокращения выбросов. На рис. 3.17 показаны характерные значения для когенерационной электростанции в сравнении с отдельными электростанцией и котельной для производства тепла. Данные, выраженные в условных единицах энергии, приведены для угольного топлива, однако аналогичная ситуация имеет место и при использовании других видов топлива. В этом примере когенерационная установка производит то же количество полезной энергии (электричества и тепла), что и отдельные установки. Однако при отдельном производстве общие потери энергии достигают 98 единиц, тогда как в случае когенерации потери составляют всего 33 единицы. При раздельном производстве тепла и энергии КПД (эффективность использования топлива) составляет 55%, тогда как в случае когенерации величина КПД достигает 78%. Поэтому когенерация требует на 30% меньше топлива для производства тех же количеств полезной энергии. Это означает, что при использовании когенерации выбросы загрязняющих веществ сокращаются на ту же величину. Однако точная величина снижения выбросов зависит от местной структуры топливного баланса при производстве электроэнергии и/или тепла (пара).

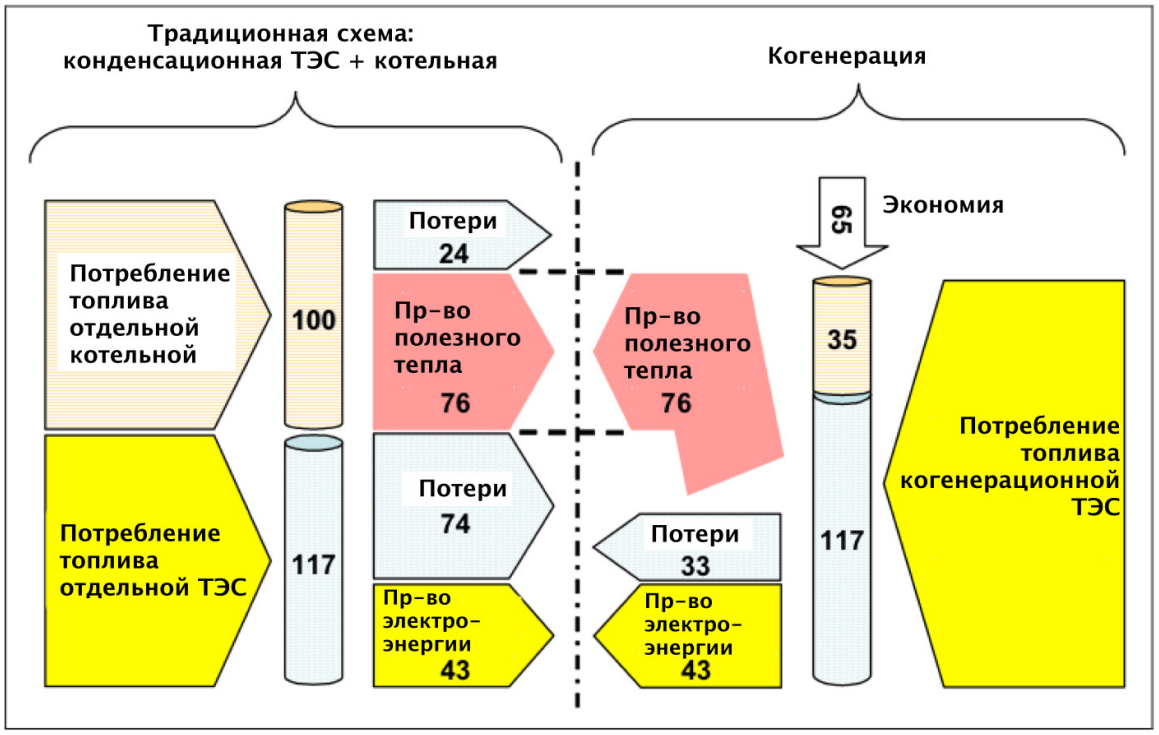


Рисунок 3.17: Сравнение эффективности когенерации и раздельного производства электроэнергии и тепла

[65, Nuutila, 2005]

Как и в случае отдельного производства электроэнергии, для когенерации может использоваться широкий диапазон видов топлива, включая, например, отходы, возобновляемое топливо (биомассу), а также ископаемые виды топлива – уголь, нефть и природный газ.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Объем производства электроэнергии может оказаться ниже, если система когенерации оптимизирована для утилизации тепла (например, в случае производства энергии на основе сжигания отходов, см. WI BREF). Можно показать (используя данные WI BREF и WFD), что установка по сжиганию отходов, утилизирующая, например, 18% энергии сжигаемых материалов в форме электроэнергии, эквивалентна установке, утилизирующей 42,5% энергии в форме централизованно распределяемого тепла или пара, пригодного для коммерческого использования (согласно WFD, коэффициент пересчета равен 0,468).

Производственная информация

См. описание различных методов когенерации выше.

Применимость

Принципиальное решение об использовании когенерации и выбор конкретного метода определяются рядом факторов; даже предприятия с аналогичными потребностями в энергии не могут считаться абсолютно одинаковыми в этом отношении. Во многих случаях принципиальное решение о внедрении когенерации определяется следующими факторами:

- принципиальным является наличие достаточных потребностей в тепле, отвечающих возможностям когенерации с точки зрения количества, температуры и т.п.;
- наличие у предприятия базисной нагрузки, т.е. уровня, ниже которого потребление электроэнергии опускается редко;
- сходный характер графиков потребностей в тепловой и электрической энергии;
- соотношение цен на топливо и тарифов на электроэнергию, обеспечивающее экономическую эффективность когенерации;

- высокий ожидаемый уровень загрузки (желательно более 4–5 тыс. час. работы при полной нагрузке в год).

В целом, применение когенерации оправдано на тех предприятиях, где имеются значительные потребности в тепле при температурах, соответствующих низкому или среднему давлению пара. При оценке потенциала производства с точки зрения когенерации важно убедиться в том, что нет оснований ожидать существенного сокращения потребностей в тепле. В противном случае эксплуатация системы, рассчитанной на производство избыточного тепла, окажется неэффективной.

По состоянию на 2007 г., даже относительно небольшая когенерационная система могла быть рентабельной (см. пример больницы «Атриум», Приложение 7.7, пример 2). Ниже в этом разделе приводятся рекомендации относительно типов когенерационных систем, пригодных для тех или иных конкретных условий. Следует, однако, иметь в виду, что приводимые количественные критерии носят ориентировочный характер и могут зависеть от местных условий. Как правило, существует возможность продажи избыточной электроэнергии национальным сетям, поскольку собственное энергопотребление предприятия может существенно варьировать. Моделирование производства и потребления энергоресурсов (см. раздел 2.15.2) способствует оптимизации систем генерации электроэнергии и утилизации тепла, а также решений о закупках недостающей и продажах избыточной энергии.

Выбор типа когенерационной системы

Паровые турбины могут быть адекватным вариантом при выполнении следующих условий:

- базисная электрическая нагрузка превышает 3–5 $МВт_э$;
- существует применение для низкопотенциального пара, и требуемое соотношение электрической и тепловой энергии превышает 1:4;
- доступность недорогого топлива с невысокой торговой наценкой;
- доступность адекватной площади для размещения системы;
- наличие высокопотенциального тепла, отходящего от технологических процессов (например, от печей или мусоросжигательных установок);
- необходимость замены существующей котельной;
- необходимо сведение к минимуму соотношения электрической и тепловой энергии к минимуму. В когенерационных системах максимизация соотношения электрической и тепловой энергии требует минимизации уровня противодавления и максимизации уровня высокого давления.

Использование газовых турбин может быть целесообразно при выполнении следующих условий:

- предполагается довести до максимума отношение производимой электрической энергии к тепловой;
- потребность в электроэнергии является постоянной и превышает 3 $МВт_э$ (на момент подготовки данного документа газовые турбины меньшей мощности лишь начинают выходить на рынок);
- доступность природного газа (однако его отсутствие не является лимитирующим фактором);
- существует значительная потребность в паре среднего/высокого давления или в горячей воде, в частности, с температурой, превышающей 500°C;
- наличие применения для горячих дымовых газов с температурой 450°C или выше – газы могут разбавляться холодным атмосферным воздухом или пропускаться через газо-воздушный теплообменник. (Кроме того, целесообразно рассмотреть возможность добавления паровой турбины и создания парогазовой системы комбинированного цикла).

Использование когенерационных систем на основе двигателей внутреннего сгорания может быть целесообразно на предприятиях, где выполняются следующие условия:

- потребность в энергии носит циклический характер или не является постоянной;
- существует потребность в паре низкого давления или горячей воде средней/низкой температуры;
- требуется высокое значение соотношения электрической и тепловой энергии;
- если доступен природный газ, предпочтительным является использование двигателей внутреннего сгорания на этом виде топлива;
- если природный газ недоступен, могут использоваться дизельные двигатели на мазуте или сжиженном нефтяном газе;
- при электрической нагрузке менее 1 $МВт_э$ – искровое зажигание (доступны системы мощностью от 0,003 до 10 $МВт_э$);
- при электрической нагрузке более 1 $МВт_э$ – воспламенение от сжатия (доступны системы мощностью от 3 до 20 $МВт_э$).

Экономические аспекты

- экономика когенерации существенно зависит от соотношения цен на топливо и электроэнергию, цен на тепло, коэффициента загрузки и КПД системы;
- экономика когенерации существенно зависит от способности обеспечить стабильное производство тепла и электроэнергии в долгосрочной перспективе, а также наличия долгосрочной потребности в них;
- важную роль играет политическая поддержка и рыночные механизмы, например, налоговые льготы и либерализация рынков энергии.

Мотивы внедрения

Политическая поддержка и рыночные механизмы (см. «Экономические аспекты» выше).

Примеры

- когенерационная электростанция в г. Аанекоски, Финляндия;
- когенерационная электростанция в г. Раухалахти, Финляндия
- используется на предприятиях по производству кальцинированной соды, см. Справочный документ по производству твердых неорганических веществ;
- предприятие Bindewald Kupfermühle, Германия:
    - мукомольный завод: 100 тыс. т/год пшеницы и ржи;
    - солодовенный завод: 35000 т/год солода;
- предприятие Dava KVV, когенерационная установка по сжиганию отходов, г. Умеа, Швеция;
- предприятие Sysav, когенерационная установка по сжиганию отходов, г. Мальмё, Швеция.

Справочная информация

[65, Nuutila, 2005], [97, Kreith, 1997] [127, TWG, , 128, EIPPCB, , 140, EC, 2005, 146, EC, 2004]

3.4.2. Тригенерация

Общая характеристика

Как правило, под тригенерацией понимается преобразование топлива одновременно в три полезных энергетических продукта: электроэнергию, тепло (горячую воду или пар) и холод (охлажденную воду). По сути тригенерационная система представляет собой когенерационную систему (см. раздел 3.4), в которой часть тепла используется для охлаждения воды при помощи абсорбционной холодильной системы (см. рис. 3.18).

На рис. 3.18 сравниваются два подхода к производству охлажденной воды: при помощи компрессора с электроприводом и в рамках тригенерационной системы, при помощи абсорбционной холодильной системы с использованием бромида лития. Как показано на схеме, утилизируется как тепло выхлопных газов, так и тепло высокотемпературного контура системы охлаждения двигателя. Необходимая гибкость в системах тригенерации может быть достигнута за счет резервных (пиковых) мощностей – компрессорных холодильных установок и работающих за счет непосредственного сжигания топлива резервных водогрейных котлов.

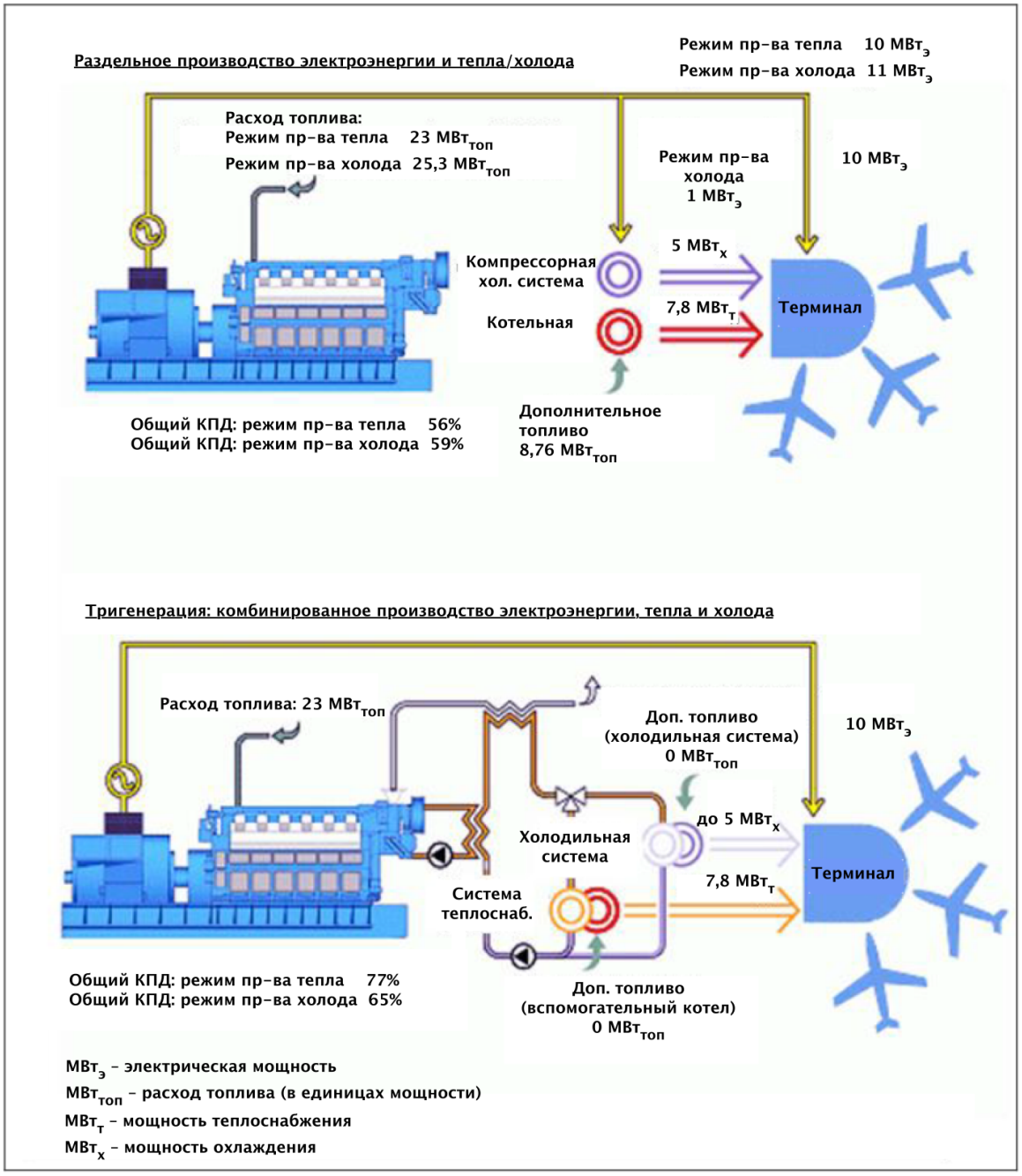


Рисунок 3.18: Сравнение тригенерации и раздельного производства энергетических продуктов для крупного аэропорта

[64, Linde, 2005]

Одноступенчатые абсорбционные холодильные установки на бромиде лития могут использовать в качестве источника энергии горячую воду с низкой температурой (вплоть до 90°C), тогда как двухступенчатым абсорбционным системам на бромиде лития необходимо тепло при температуре около 170 °C. Это означает, что источником энергии для них, как правило, служит пар. Одноступенчатая абсорбционная система на бромиде лития способна охлаждать воду до температуры 6–8°C и имеет коэффициент преобразования около 0,7, тогда как коэффициент

преобразования двухступенчатой системы составляет около 1,2. Это означает, что такие системы обеспечивают мощность охлаждения, равную 0,7–1,2 мощности, получаемой от источника тепла.

В случае тригенерационной системы на двигателе внутреннего сгорания могут использоваться как одноступенчатые, так и двухступенчатые системы. Однако, поскольку двигатель производит отходящее тепло в форме тепловой энергии выхлопных газов и охлаждающей воды, одноступенчатая система является более предпочтительной, поскольку она позволяет утилизировать больше тепла, использовав его в абсорбционной холодильной установке.

Экологические преимущества

Основным преимуществом тригенерационной системы является производство того же количества энергоресурсов за счет значительно меньшего количества топлива, чем в случае раздельного производства электроэнергии и тепла.

Гибкость системы тригенерации, которая способна использовать утилизируемую энергию для теплоснабжения во время холодного сезона (зимой) и холодоснабжения во время теплого сезона (летом) позволяет увеличить продолжительность времени, в течение которого система может работать с максимальной эффективностью, что отвечает как интересам собственника, так и соображениям охраны окружающей среды (см. рис. 3.19).

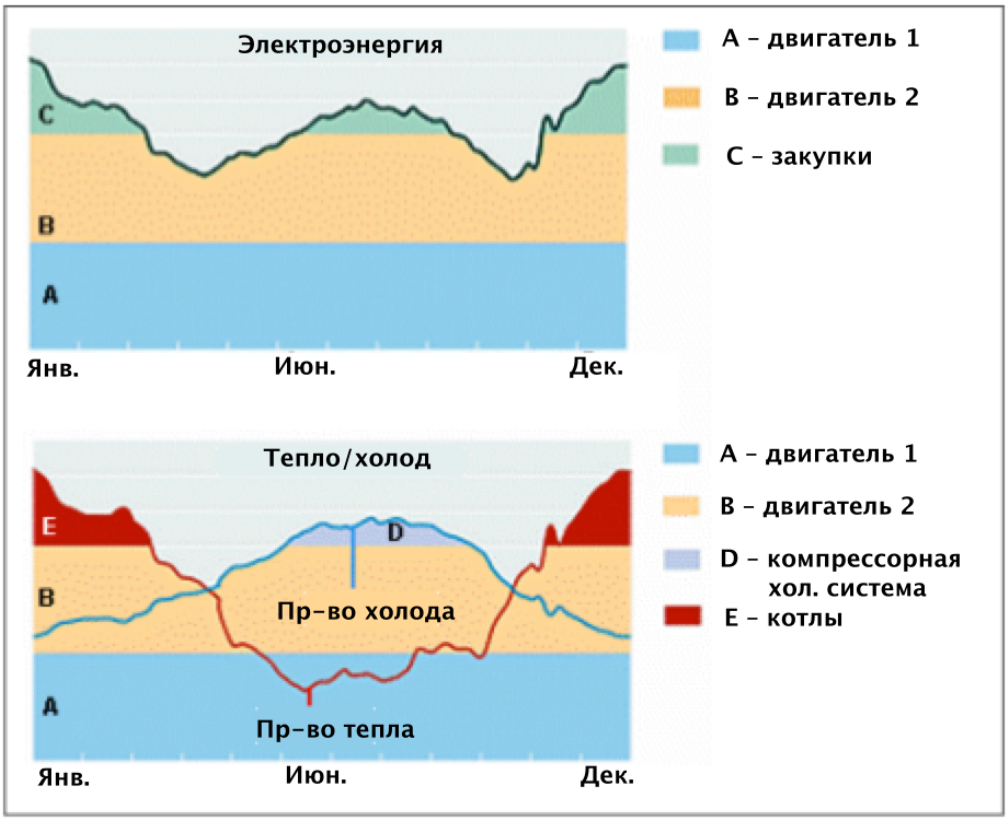


Рисунок 3.19: Оптимизация работы предприятия в течение года за счет тригенерации

[64, Linde, 2005]

Выбор принципиального подхода к использованию системы тригенерации, а также стратегии управления системой имеет большое значение и заслуживает тщательного рассмотрения. Решение, при котором весь необходимый холод производится за счет абсорбционной холодильной системы, редко оказывается оптимальным. Например, в системах кондиционирования воздуха для удовлетворения потребностей в охлаждении на протяжении большей части года достаточно 70% пиковой мощности охлаждения. Остальные 30% при необходимости могут быть обеспечены резервными компрессорными установками.

Такой подход позволяет минимизировать капитальные затраты, связанные с внедрением системы.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Тригенерация и распределенное производство энергии

Поскольку распределение горячей или охлажденной воды сопряжено с большими трудностями и затратами, чем распределение электроэнергии, тригенерация автоматически ведет к развитию распределенной генерации, поскольку станция должна находиться ближе к потребителям тепла и холода. При этом близость предприятия к потребителям способствует и сокращению затрат на передачу и распределение электроэнергии.

Для нахождения оптимального применения утилизируемой энергии и, как следствие, достижения максимального КПД (по отношению к энергии топлива) системы тригенерации ориентированы на удовлетворение потребностей как в тепле, так и в холоде. Тригенерация представляет собой дальнейшее развитие концепции когенерации посредством добавления к системе холодильной установки. Дополнительные инвестиции такого рода не имеют смысла в том случае, если предприятие, внедряющее систему когенерации, способно найти на собственном производстве эффективное применение всему утилизируемому теплу.

Однако такие инвестиции могут быть оправданы в том случае, если в определенные периоды работы предприятия не все тепло находит применение, или потребность в тепле вообще отсутствует, но имеется потребность в охлаждении воды или воздуха. Например, тригенерация часто используется для кондиционирования воздуха в зданиях, когда зимой необходим подогрев, а летом – охлаждение, или когда одни помещения нуждаются в отоплении, а другие – в охлаждении.

Многие промышленные производства и общественные здания также характеризуются подходящим балансом потребностей в тепле и холоде. В качестве примеров можно назвать, в частности, пивоваренные предприятия, торговые центры, аэропорты и больницы.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат.

Примеры

- Аэропорт Мадрид – Барахас, Испания (см. Приложение 7.10.4);
- Больница «Атриум», Нидерланды (см. Приложение 7.7).

Справочная информация

[64, Linde, 2005, 93, Tolonen, 2005]

3.4.3. Централизованное холодоснабжение

Общая характеристика

Организация централизованного холодоснабжения является еще одним возможным применением когенерации. В этом случае когенерация обеспечивает производство электроэнергии, которая поставляется в распределительные сети, и тепла, которое используется для приведения в действие абсорбционных холодильных установок. Холод распределяется в виде охлажденной воды, поставляемой потребителям при помощи отдельной распределительной сети.

Централизованное холодоснабжение может быть организовано различными способами в зависимости от времени года и наружной температуры. В зимний период источником холода может быть холодная морская вода (см. рис. 3.20), по крайней мере, в северных странах. В теплое время года для охлаждения может использоваться абсорбционная технология (см. рис. 3.21 и раздел 3.3.2). Централизованно производимый холод может использоваться для кондиционирования воздуха и охлаждения офисных, коммерческих и жилых помещений.

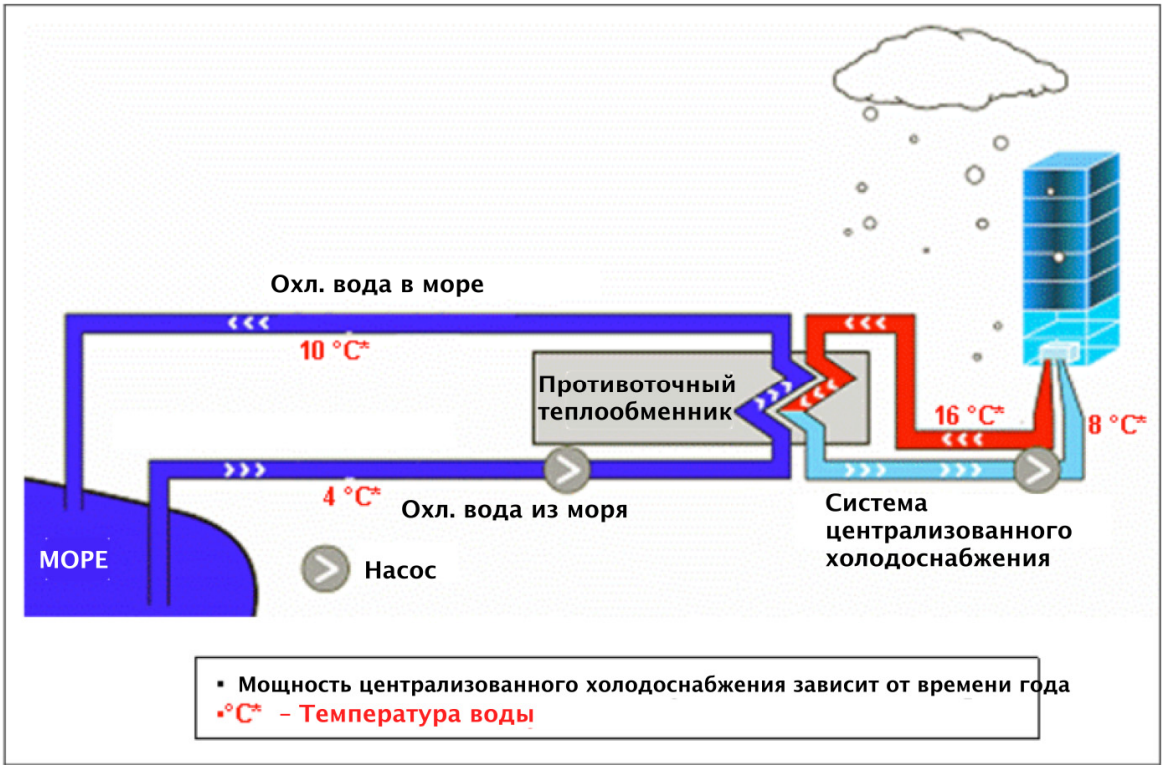


Рисунок 3.20: Организация централизованного холодоснабжения в зимний период на основе свободного охлаждения при помощи морской воды

[93, Tolonen, 2005]

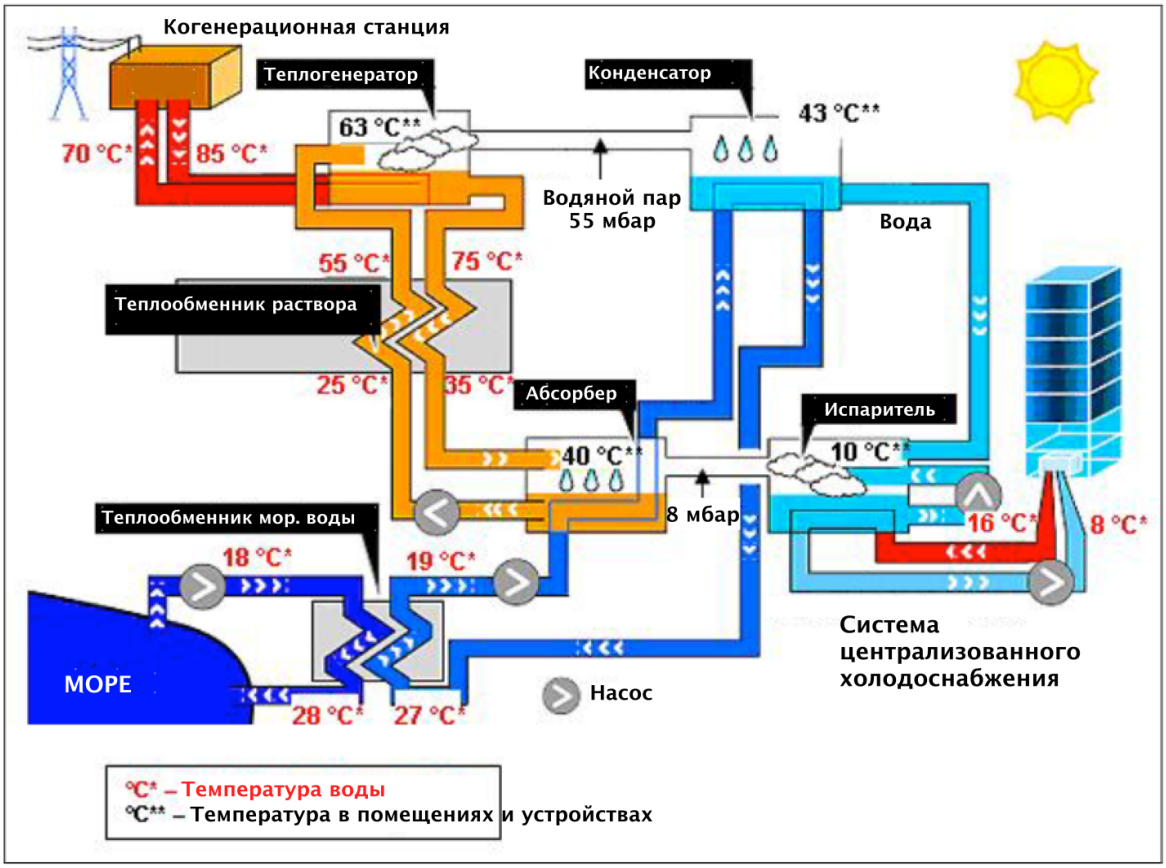


Рисунок 3.21: Организация централизованного холодоснабжения в летний период на основе абсорбционного охлаждения

[93, Tolonen, 2005]

Экологические преимущества

Повышение экоэффективности систем централизованного теплоснабжения (ЦТС) и централизованного теплоснабжения (ЦХС) в Хельсинки (Финляндия) внесло вклад в достижение многих целей устойчивого развития, как показано ниже:

- было достигнуто значительное сокращение выбросов парниковых газов и других вредных веществ, в частности, оксидов азота, диоксида серы и твердых частиц;
- было достигнуто снижение потребления электроэнергии и, в частности, пиков в жаркие дни, связанных с интенсивной работой охлаждающего оборудования на уровне отдельных домов;
- в период с октября по май система ЦХС функционирует исключительно за счет энергии из возобновляемых источников (охлаждение за счет морской воды). Это соответствует 30% общего количества холода, потребляемого за год;
- в теплое время года абсорбционные холодильные установки функционируют за счет отходящего тепла систем когенерации, которое в противном случае было бы отведено в окружающую среду. Хотя это может привести к повышению расхода топлива на когенерационных станциях, общий расход топлива (с учетом производства энергии, потребляемой отдельными холодильными системами на уровне домов) снижается;
- были устранены такие вредные воздействия охлаждающего оборудования на уровне домов, как шум и вибрация;
- были высвобождены площади в домах, ранее занятые охлаждающим оборудованием;
- была решена проблема роста микроорганизмов в конденсаторах систем охлаждения;
- в отличие от домовых систем, эксплуатация системы ЦХС не сопряжена с использованием и утечками вредных хладагентов (например, ХФУ и ГХФУ);
- система ЦХС способствует улучшению эстетики городской среды, поскольку производственные здания и трубопроводы не видны. Отсутствует необходимость в больших конденсаторах на крышах или многочисленных небольших кондиционеров в окнах или на стенах зданий;
- жизненный цикл систем ЦТС и ЦХС значительно больше, чем оборудования, устанавливаемого в отдельных домах, поскольку срок службы, например, установки по централизованному производству холода вдвое превышает аналогичные характеристики домового охлаждающего оборудования. Срок службы магистральных трубопроводов ЦТС и ЦХС составляет больше столетия.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия, связанные с сооружением распределительной системы.

Производственная информация

Данные системы отличаются надежностью.

Применимость

Данный метод может широко использоваться, однако его применимость зависит от местных условий.

Экономические аспекты

Необходимы значительные инвестиции в создание распределительных сетей.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

- Helsinki Energy, Хельсинки, Финляндия;

- В Амстердаме (Нидерланды) в качестве источников холода для централизованного холодоснабжения используются глубокие озера, расположенные вблизи соответствующих станций.

Справочная информация

[93, Tolonen, 2005], [120, Helsinki Energy, 2004]

3.5. Электроснабжение

Введение

В национальных сетях электроэнергия передается по высоковольтным линиям в виде синусоидальных волн напряжения и силы тока с частотой 50 Гц (в Европе), причем одновременно передаются три волны (фазы), сдвинутые друг относительно друга на 120°. Высокое напряжение применяется с целью минимизации потерь при передаче. В зависимости от используемого оборудования, при входе на объект потребителя или вблизи конкретной установки осуществляется понижение напряжения. Как правило, напряжение для промышленных потребителей понижается до 440 В, а для домохозяйств, офисов и т.п. – до 240 В.

Качество электроснабжения и условия использования энергии зависят от различных факторов, включая сопротивление электрических сетей, а также влияние некоторых видов оборудования и использования энергии на характеристики энергоснабжения. В энергетических системах крайне желательны стабильность напряжения, а также отсутствие искажений формы волн.

В 2002 г. общее потребление электроэнергии в 25 странах ЕС (EU-25) составило 2641 ТВт·ч; еще 195 ТВт·ч составили потери в сетях. Основным потребителем электроэнергии была промышленность (1168 ТВт·ч или 44 % общего потребления), за которой следовали жилой сектор (717 ТВт·ч или 27 %) и сектор услуг (620 ТВт·ч или 23 %). На эти три сектора в совокупности приходилось около 94% потребления электроэнергии в ЕС.

3.5.1. Компенсация реактивной мощности

Общая характеристика

Многие широко распространенные виды электрического оборудования обладают не только активным, но и индуктивным сопротивлением. В качестве примеров можно назвать, в частности:

- однофазные и трехфазные электродвигатели переменного тока (см. раздел 3.6);
- приводы с переменной скоростью (см. раздел 3.6.3);
- трансформаторы (см. раздел 3.5.4);
- разрядные лампы высокой интенсивности (см. раздел 3.10).

При работе всех этих устройств потребляется как активная, так и реактивная электрическая мощность. Активная мощность преобразуется в полезную работу, в то время как реактивная мощность расходуется на создание электромагнитных полей. Реактивная мощность совершает периодические колебания между генератором и нагрузкой (с частотой источника). Конденсаторные батареи и подземные кабели также вносят вклад в формирование реактивной мощности.

Полная мощность рассчитывается как геометрическая сумма активной и реактивной мощности, представленных взаимно перпендикулярными векторами. Именно полная мощность определяет требования к генерирующим, сетевым и распределительным мощностям. Это означает, что генераторы, трансформаторы, линии электропередач, распределительное оборудование и т.д. должны быть рассчитаны на более высокую номинальную мощность, чем в том случае, если бы нагрузка потребляла только активную мощность.

Вследствие этого компании, эксплуатирующие генерирующие и передающие мощности (это может быть как внешний поставщик, так и предприятие, производящее электроэнергию для собственных нужд) сталкиваются с необходимостью дополнительных затрат на оборудование и дополнительными потерями энергии. Поэтому внешние поставщики взимают с потребителей

дополнительную плату в том случае, если доля реактивной мощности превышает определенное пороговое значение. Как правило, в качестве порогового уровня выбирается величина cos φ (запаздывания тока по фазе относительно напряжения) в диапазоне между 1,0 и 0,9, при которой негативные эффекты, связанные с реактивной мощностью, могут считаться несущественными. В Приложении 7.17 приведено простое разъяснение концепции активной и реактивной мощности.

$$Коэффициент\ мощности = \frac{Активная\ мощность}{Полная\ мощность}$$

Например, в ситуации, представленной на схеме на рис. 3.22:

- активная мощность равна 100 кВт, полная мощность равна 142 кВА, и, следовательно:
- коэффициент мощности равен 100/142 = 0,70.

Это означает, что только 70% тока, поставляемого энергетической компанией, используется для совершения полезной работы (дальнейшие разъяснения приведены в Приложении 7.17).



Рисунок 3.22: Активная, реактивная и полная мощность

Корректировка коэффициента мощности (компенсация реактивной мощности), например, посредством подключения конденсаторов параллельно нагрузке, позволяет устранить или снизить потребность в производстве и передаче реактивной мощности. Средства корректировки коэффициента мощности оказываются наиболее эффективными в том случае, если они применяются в непосредственной близости от нагрузки и основаны на современных технологиях.

Поскольку коэффициент мощности может изменяться со временем вследствие изменения характеристик и состава оборудования, представляющего собой индуктивную нагрузку (см. примеры выше), его измерение должно производиться с определенной периодичностью. Период между измерениями зависит от характера предприятия и использования оборудования и, как правило, находится в диапазоне от 3 до 10 лет. Кроме того, конденсаторы, используемые для компенсации реактивной мощности, со временем изнашиваются и, как следствие, также нуждаются в периодических проверках (легко наблюдаемым признаком износа является нагрев конденсатора при работе).

В качестве прочих мер, направленных на повышение коэффициента мощности, можно, в частности:

- свести к минимуму работу двигателей на холостом ходу или со значительной недогрузкой (см. раздел 3.6);
- избегать эксплуатации оборудования при напряжении, превышающем номинальное;
- по мере исчерпания ресурса или выхода из строя традиционных электродвигателей заменять их энергоэффективными (см. раздел 3.6);
- даже в случае энергоэффективных двигателей коэффициент мощности существенно зависит от вариаций нагрузки. Двигатель, спроектированный для работы с высоким

коэффициентом мощности, должен работать при мощности, близкой к номинальной, для реализации этого потенциала (см. раздел 3.6).

Экологические преимущества

Энергосбережение как на стороне производителя, так и на стороне потребителя.

В табл. 3.21 представлен потенциальный эффект доведения среднего коэффициента мощности в промышленном секторе ЕС до 0,95.

Коэффициент мощности в промышленности EU-25	Потребление активной мощности, ТВт·ч	Cos φ	Пр-во реактивной мощности $ТВА_р$·ч	Пр-во полной мощности ТВА·ч
Фактический (согласно оценкам)	1168	0,70	1192	1669
Целевой	1168	0,95	384	1229

Таблица 3.21: Оцениваемое потребление электроэнергии в промышленном секторе 25 государств – членов ЕС в 2002 г.

[131, ZVEI, 140, EC, 2005]

Согласно оценкам, улучшение среднего коэффициента мощности во всех государствах – членах ЕС привело бы к сбережению 31 ТВт·ч электроэнергии, хотя часть этого потенциала уже используется. Расчеты были выполнены исходя из общей величины потребления электроэнергии в промышленности и секторе услуг ЕС-25 в 2002 г. 1788 ТВт·ч, причем из этой величины на промышленность пришлось 65 %[37].

Повышение коэффициента мощности приведет и к энергосбережению на уровне отдельных предприятий. Согласно оценкам, повышение коэффициента мощности с 0,73 (среднее значение для промышленности и сектора услуг ЕС) до 0,95 позволяет сократить энергопотребление предприятия на 0,6%.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Некомпенсированная реактивная мощность приводит к росту потерь в распределительной сети предприятия. Существенные потери могут приводить к перепадам напряжения, которые, в свою очередь, могут вызывать перегрев и преждевременные отказы электродвигателей и другой индуктивной нагрузки.

Применимость

Все предприятия.

Экономические факторы

Внешние поставщики могут взимать дополнительную плату за реактивную мощность, связанную с индуктивной нагрузкой потребителя, если коэффициент мощности предприятия оказывается ниже 0,95 (см. Приложение 7.11).

Затраты на компенсацию реактивной мощности невелики. Некоторые виды современного оборудования (например, энергоэффективные двигатели) снабжены встроенными средствами компенсации реактивной мощности.

Мотивы внедрения

- сокращение потерь энергии как на предприятии, так и во внешних передающих и распределительных сетях (в случае электроснабжения из внешнего источника);
- увеличение полезной мощности внутренней системы энергоснабжения;

[37] 31 ТВт·ч соответствует энергопотреблению более 8 млн. домохозяйств или мощности примерно 2600 ветрогенераторов, около 10 ТЭС на природном газе и 2–3 АЭС. Эта величина соответствует также выбросам более 12 Мт CO_2.

- повышение надежности оборудования и сокращение времени простоев.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

Дополнительные сведения о компенсации реактивной мощности приведены в Приложении 7.17.

[130, US_DOE_PowerFactor, 131, ZVEI]

3.5.2. Гармоники

Общая характеристика

Некоторые виды электротехнического оборудования, представляющего собой нелинейную нагрузку, могут приводить к возникновению гармоник (искажений синусоидальной формы волн напряжения или тока) в электрических сетях. К нелинейной нагрузке относятся, в частности, выпрямители, некоторые системы электрического освещения, электродуговые печи, импульсные источники питания, компьютеры и т.д.

Для подавления (устранения или снижения) гармоник могут использоваться фильтры. Нормативные документы ЕС ограничивают использование методов повышения коэффициента мощности, связанных с увеличением гармоник. Такие стандарты, как EN 61000-3-2 и EN 61000-3-12 требуют оборудования импульсных источников питания фильтрами гармоник.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Негативные эффекты гармоник могут включать:

- необоснованное срабатывание предохранителей;
- нарушение функционирования генераторных систем и систем бесперебойного энергоснабжения;
- проблемы с учетом энергопотребления;
- нарушение работы компьютерного оборудования;
- проблемы, связанные с перенапряжением.

Гармоники не могут быть обнаружены при помощи обычного амперметра; для этого необходимо оборудование, позволяющее измерять истинные среднеквадратичные значения.

Применимость

Проверки с целью выявления оборудования, создающего гармоники, следует проводить на любых предприятиях.

Экономические аспекты

Потери вследствие нарушения функционирования оборудования.

Мотивы внедрения

- повышение надежности оборудования;
- сокращение потерь, связанных с простоями;
- снижение тока заземления;
- наличие гармоник требует дополнительных мер обеспечения безопасности заземления.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[132, Wikipedia_Harmonics, , 135, EUROELECTRICS, , 136, CDA]

3.5.3. Оптимизация систем электроснабжения

Общая характеристика

В линиях электропередач и кабелях имеют место омические потери мощности, которые (при заданной мощности) тем выше, чем ниже напряжение. Поэтому оборудование, потребляющее значительную мощность, должно находиться так близко к высоковольтной линии, как только возможно. Это означает, например, что соответствующий понижающий трансформатор должен находиться как можно ближе к энергопотребляющему оборудованию.

Диаметр кабелей или проводки, используемых для электроснабжения оборудования, должен быть достаточно большим, чтобы избежать избыточных потерь, связанных с сопротивлением. Системы энергоснабжения могут быть оптимизированы при помощи использования оборудования с повышенной энергоэффективностью, например, энергоэффективных трансформаторов.

Другие виды оборудования с повышенной энергоэффективностью рассматриваются в последующих разделах: электродвигатели – в разделе 3.6, компрессоры – в разделе 3.7, а насосы – в разделе 3.8.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

- при планировании расположения оборудования следует размещать технику со значительным энергопотреблением рядом с соответствующими понижающими трансформаторами;
- кабели и проводка на всех предприятиях должны быть проверены на предмет сопротивления, и при необходимости их диаметр должен быть увеличен.

Применимость

- повышение надежности оборудования;
- сокращение потерь, связанных с простоями;
- при оценке экономической эффективности следует учитывать потери за весь срок службы оборудования.

Экономические аспекты

Сокращение продолжительности простоев и энергопотребления.

Мотивы внедрения

Снижение затрат.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[135, EUROELECTRICS, 230, Association, 2007]

3.5.4. Энергоэффективная эксплуатация трансформаторов

Общая характеристика

Трансформатор представляет собой устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Широкое распространение трансформаторов обусловлено, в частности, тем, что электроэнергия передается и распределяется при более высоком уровне напряжения, чем уровень, необходимый для питания промышленного оборудования, что позволяет снизить потери при передаче.

Как правило, трансформатор является статическим устройством, состоящим из сердечника, набранного из ферромагнитных пластин, а также первичной и вторичной обмоток, расположенных с противоположных сторон сердечника. Важнейшей характеристикой трансформатора является коэффициент трансформации, который определяется как отношение выходного напряжения к входному – V_2/V_1 (см. рис. 3.23).

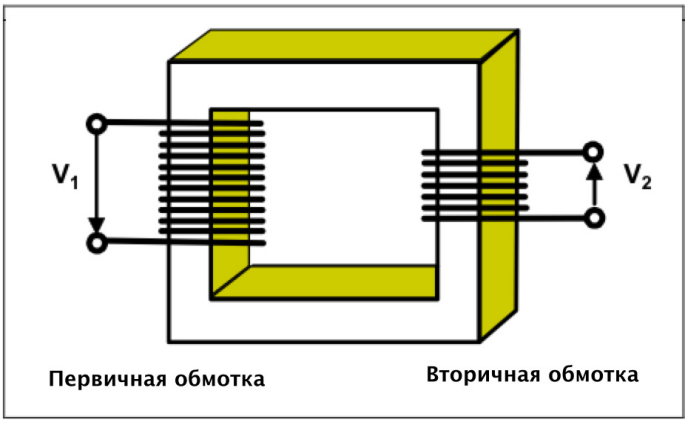


Рисунок 3.23: Схема трансформатора

[245, Di Franco, 2008]

Если P_1 представляет собой электрическую мощность, потребляемую трансформатором, P_2 – отдаваемую мощность, а P_L – мощность потерь, то закон сохранения энергии можно записать в следующем виде:

$$P_1 = P_2 + P_L \qquad \textbf{Уравнение 3.9},$$

а КПД трансформатора равен:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_L}{P_1} \qquad \textbf{Уравнение 3.10}$$

Потери в трансформаторах подразделяются на два основных типа – «потери в стали» (т.е. в сердечнике) и «потери в меди» (т.е. в обмотках). Потери в стали вызываются гистерезисом и вихревыми токами в ферромагнитных пластинах сердечника; их величина пропорциональна V^2 и составляет примерно 0,2–0,5 % номинальной мощности трансформатора P_n (P_2). Потери в меди связаны с сопротивлением медных обмоток и выделением джоулева тепла в них; величина этих потерь пропорциональна I^2, и составляет примерно 1–3% номинальной мощности P_n (при стопроцентной загрузке трансформатора).

При эксплуатации трансформатора в реальных условиях средний коэффициент загрузки *x* всегда меньше 100 % ($P_{эфф.} = xP_n$). Можно показать, что зависимость между КПД трансформатора и коэффициентом загрузки имеет вид, показанный на рис. 3.24 (для трансформатора мощностью 250 кВА). В данном случае КПД достигает максимума при величине коэффициента загрузки около 40%.



Рисунок 3.24: Уровень потерь и КПД трансформатора в зависимости от коэффициента загрузки

[245, Di Franco, 2008]

Независимо от мощности конкретного трансформатора, зависимость КПД от коэффициента загрузки имеет максимум, находящийся в среднем на уровне 45% от номинальной загрузки.

Эта особенность позволяет рассмотреть следующие варианты повышения эффективности для трансформаторной подстанции:

- если общая мощность, потребляемая нагрузкой, ниже уровня 40–50% P_n, в качестве меры энергосбережения целесообразно отключить один или несколько трансформаторов, чтобы довести загрузку остальных до оптимальной величины;
- в противоположной ситуации (общая мощность, потребляемая нагрузкой, превышает 75% P_n), достичь оптимального КПД трансформаторов можно лишь посредством установки дополнительных мощностей;
- при замене трансформаторов, исчерпавших ресурс, или модернизации трансформаторных подстанций предпочтительной является установка трансформаторов с пониженным уровнем потерь, что позволяет снизить потери на 20–60%.

Экологические преимущества

Сокращение потребления вторичных энергоресурсов.

Воздействия на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

Как правило, на трансформаторных подстанциях имеется избыток установленных мощностей, вследствие чего средний фактор загрузки относительно низок. Этот избыток мощностей традиционно поддерживается для того, чтобы обеспечить бесперебойную работу в случае выхода из строя одного или нескольких трансформаторов.

Применимость

Критерии оптимизации применимы ко всем трансформаторным подстанциям. Согласно оценкам, оптимизация загрузки возможна в 25% случаев.

Величина трансформаторных мощностей, заново устанавливаемых или обновляемых в промышленности ежегодно, оценивается в 5% общей установленной мощности. В этих случаях может рассматриваться возможность установки трансформаторов с пониженным уровнем потерь.

Экономические аспекты

В случае установки трансформаторов с пониженным уровнем потерь или замены ими используемых в настоящее время низкоэффективных трансформаторов срок окупаемости, как

правило, является относительно коротким, принимая во внимание значительное время работы трансформаторов (ч/год).

Мотивы внедрения

Основными мотивами являются энергосбережение и снижение затрат.

Примеры

В одном из примеров модернизации трансформаторной подстанции, предусматривавшей установку четырех новых трансформаторов с электрическими мощностями 200, 315, 500 и 1250 кВА, срок окупаемости, согласно оценке, должен был составить 1,1 г.

Справочная информация

[228, Petrecca, 1992, 229, Di Franco]

3.6. Подсистемы с электроприводом[38]

Введение

Наилучшим подходом к анализу и оптимизации энергоэффективности систем с электроприводом является изучение потребностей технологического процесса в механической энергии, а также оптимального способа функционирования системы. Такой системный подход, позволяющий обеспечить наибольшее энергосбережение (см. разделы 1.3.5 и 1.5.1), обсуждается в соответствующих разделах настоящей главы. Объемы энергосбережения, достигаемого в результате оптимизации системы в целом, как минимум, равны тому, что может быть достигнуто при оптимизации отдельных компонентов, но могут превосходить эту величину на 30% и более (см. раздел 1.5.1 и, например, обсуждение оптимизации систем снабжения сжатым воздухом в разделе 3.7).

В подсистемах с электроприводом электрическая мощность преобразуется в механическую. В большинстве промышленных применений механическая энергия передается использующему устройству в форме механической энергии вращения (посредством вращающегося вала). Электродвигатели являются первичными приводами для большинства видов промышленного оборудования, использующего механическую энергию, включая, в частности, насосы, вентиляторы, миксеры, конвейеры, корообдирочные машины, дробилки, пилы, экструдеры, центрифуги, прессы, мельницы и т.д.

На электродвигатели приходится значительная часть общего потребления электроэнергии в Европейском Союзе. Согласно оценкам, на электродвигатели приходится:

- около 68% потребления электроэнергии в промышленности, что в 1997 г. составляло 707 ТВт·ч;
- 1/3 потребления электроэнергии в «третичном секторе» (транспорт, связь, сфера услуг).

Подсистемы с электроприводом

Это подсистема или совокупность компонентов, состоящая из:

- источника энергоснабжения;
- устройства управления (регулирующего устройства), например, преобразователя частоты (см. ниже);
- электродвигателя, как правило, переменного тока;
- механической передачи;
- приводимого в движение устройства (исполнительного устройства), например, центробежного насоса.

[38] В настоящем документе под «системой» понимается совокупность взаимосвязанных компонентов или устройств, действующих совместно для выполнения определенной функции (например, системы ОВКВ или снабжения сжатым воздухом). См. обсуждение вопроса о границах системы. В состав систем часто входят подсистемы (или меньшие системы-компоненты) с электроприводом.

На рис. 3.25 представлены схемы традиционной и энергоэффективной насосных систем.

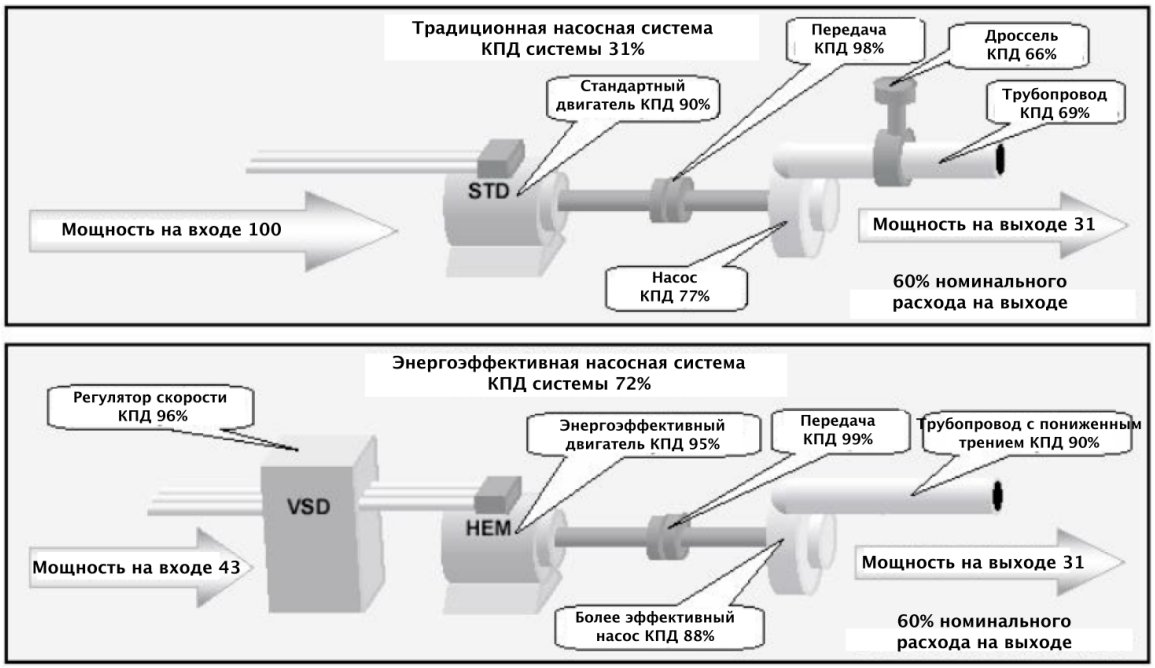


Рисунок 3.25: Схема традиционной и энергоэффективной насосной систем

[246, ISPRA, 2008]

Исполнительное устройство

Это устройство или установка, выполняющие какую-либо полезную функцию, имеющую отношение к назначению промышленного предприятия. Как правило, полезная функция относится к одной из двух основных категорий:

- изменение каких-либо свойств веществ, материалов или объектов, например, изменение давления (компрессоры, насосы) или физической формы (дробление, вытягивание проволоки, прокатка металла и т.п.). Именно функция, связанная с изменением давления, играет важную роль в крупных системах, которым посвящены отдельные разделы данного документа:
    - насосы (20 %), см. раздел 3.8;
    - вентиляторы (18 %), см. раздел 3.9
    - воздушные компрессоры (17 %), см. раздел 3.7;
    - компрессоры систем охлаждения (11 %), см. раздел 3.4.2.
- перемещение или транспортировка материалов или объектов (конвейеры, краны, лебедки, подъемники и т.д.):
    - конвейеры (4 %) и другие применения (30 %).

(Приведенные процентные значения отражают долю общего потребления энергии электродвигателями в 15 странах ЕС (EU-15), приходящуюся на данное применение)

Потребление электроэнергии системой с электроприводом зависит от множества факторов, включая:

- КПД двигателя;
- выбор оптимальной мощности двигателя и других компонентов системы;
- управление работой двигателя: управление пуском/остановом, а также регулирование скорости;
- качество энергоснабжения;

- система механической передачи;
- практики технического обслуживания;
- КПД устройства, потребляющего механическую мощность.

Для реализации максимального потенциала энергосбережения пользователю следует начать с оптимизации более широкой системы, в состав которой входит подсистема с электродвигателем, и лишь затем переходить к оптимизации подсистемы (см. разделы 1.4.2 и 1.5.1, а также разделы по конкретным типам систем в настоящей главе).

Механическая передача

Механическая передача обеспечивает механическое соединение и передачу энергии между приводом и устройством, приводимым в движение. Передача может быть реализована при помощи простои жесткой муфты, соединяющей валы устройства и двигателя, редуктора, ременного или цепного привода, или гидравлической передачи. С любым из видов передачи связаны определенные дополнительные потери в системе.

Электродвигатели

Электродвигатели подразделяются на два основных класса: двигатели постоянного тока и двигатели переменного тока. В промышленности применяются оба типа двигателей, однако на протяжении нескольких последних десятилетий преимущество в большинстве случаев отдается двигателям переменного тока.

К достоинствам двигателей переменного тока относится:

- надежность, простота конструкции, ограниченные потребности в техническом обслуживании;
- высокий уровень КПД (в особенности у двигателей высокой мощности);
- относительно низкая стоимость.

В силу этих достоинств двигатели переменного тока получили широкое распространение. Однако они способны эффективно функционировать лишь при определенной частоте вращения. Если нагрузка является нестабильной, возникает потребность в регулировании скорости, что может быть реализовано наиболее энергоэффективным способом при помощи регулятора (преобразователя) частоты.

В промышленности наиболее распространены электродвигатели переменного тока, имеющие одну многофазную систему обмоток, активно участвующую в процессе преобразования энергии.

Двигатели переменного тока подразделяются на:

- индукционные (асинхронные) двигатели, которые способны самостоятельно создавать пусковой момент (хотя и незначительный) и, как следствие, не требуют вспомогательных устройств для запуска. Данная технология хорошо приспособлена для двигателей с мощностью до нескольких мегаватт;
- синхронные двигатели, которые принципиально способны создавать момент лишь при номинальной скорости вращения. Такие двигатели неспособны самостоятельно создавать пусковой момент и, как следствие, нуждаются в дополнительных средствах для запуска и разгона, например, специальных регулирующих устройствах. Синхронные двигатели часто используются там, где необходима большая мощность, например, для приведения в действие компрессоров в нефтехимической промышленности.

Электродвигатели постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита и, в частности, синхронные бесколлекторные двигатели, могут использоваться там, где необходима меньшая частота вращения, чем та, которая характерна для двигателей переменного тока. В таких применениях (с частотой вращения 220 – 600 об./мин.), например в т.н. секционных приводах бумагоделательных и картоноделательных машин, использование двигателей постоянного тока позволяет обойтись без редукторов, что способствует повышению общего КПД системы.



Рисунок 3.26: Привод компрессора с номинальной мощностью 24 МВт

[95, Savolainen, 2005]

Легкость электрического регулирования частоты вращения являлась традиционным преимуществом двигателей постоянного тока. Кроме того, этот тип двигателей отличается значительной величиной пускового момента, что существенно для некоторых применений. Однако быстрое развитие электронных средств и алгоритмов управления двигателями переменного тока привело к тому, что технология постоянного тока практически утратила превосходство даже в традиционных областях своего применения. Напротив, современные двигатели переменного тока превосходят свои аналоги, работающие на постоянном токе, во многих отношениях. Иными словами, в настоящее время даже такие специфические функции, как управлению скоростью и крутящим моментом накатов в бумагоделательных машинах, могут выполняться двигателями переменного тока в сочетании с соответствующими регулирующими устройствами.

Устройство управления

В своей простейшей форме устройство управления представляет собой выключатель или контактор для включения или выключения двигателя посредством замыкания или размыкания цепи. Выключатель может управляться вручную или дистанционно, при помощи управляющего напряжения. Выключатель с добавленными функциями защиты двигателя представляет собой пускатель двигателя.

Более сложным способом подключения двигателя к сети является использование устройства плавного запуска (называемое также «пусковой переключатель со звезды на треугольник»). Это устройство обеспечивает плавный запуск двигателя переменного тока, ограничивая «броски тока» при запуске и тем самым защищая двигатель и предохранители в цепях. В отсутствие устройства плавного запуска двигатель переменного тока чрезвычайно быстро разгоняется до номинальной скорости. Однако устройство плавного запуска НЕ является средством повышения

энергоэффективности или энергосбережения, хотя такая точка зрения и высказывается в некоторых источниках.

Единственный способ, которым вышеописанные устройства могут вносить вклад в повышение энергоэффективности, состоит в том, что они предоставляют возможность выключить двигатель при отсутствии потребности в его функционировании.

«Истинные» устройства управления или регулирующие устройства позволяют управлять частотой вращения электродвигателя и создаваемым им моментом. Принцип работы типичного регулятора двигателя переменного тока состоит в преобразовании частоты тока, получаемого из сети (50 Гц в Европе), в заданную частоту, что позволяет изменять частоту вращения двигателя. Устройство, регулирующее скорость двигателя переменного тока, может называться:

- «преобразователь частоты»;
- «инвертор» (это название часто используется пользователями двигателей в промышленности);
- «привод с регулируемой частотой» (это и следующие названия относятся к сочетанию двигателя и регулирующего устройства);
- «привод с переменной скоростью»;
- другие аналогичные названия (например, «привод с регулируемой скоростью»).

На системы с электроприводом приходится около 65% промышленного потребления электроэнергии в странах Европейского Союза. Согласно данным, полученным в рамках программы EU-15 SAVE, в 15 странах ЕС потенциал энергосбережения на предприятиях, использующих двигатели переменного тока, составляет 43 ТВт·ч/год, причем 15 ТВт·ч/год из этой величины связано с повышением энергоэффективности самих двигателей.

Существует, как минимум, два различных подхода к анализу и оптимизации энергоэффективности систем с электроприводом. Один подход подразумевает анализ энергоэффективности отдельных компонентов и переход к использованию лишь энергоэффективного оборудования. Другой подход основан на анализе системы в целом и, как отмечалось во введении к данному разделу, способен обеспечить значительно большее энергосбережение.

3.6.1. Энергоэффективные двигатели

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Примерам» и «Мотивам внедрения» для методов повышения энергоэффективности двигателей приведена в разделе 3.6.7).

Энергоэффективные двигатели и высокоэффективные двигатели отличаются повышенной энергоэффективностью. Начальные затраты на приобретение такого двигателя могут быть на 20–30% выше по сравнению с традиционным оборудованием при мощности двигателя более 20 кВт, и на 50–100 % при мощности менее 15 кВт. Конкретная величина стоимости зависит от класса энергоэффективности (двигатель более высокого класса содержит больше стали и меди), а также других факторов. Однако при мощности двигателя 1–15 кВт может быть достигнуто энергосбережение в размере 2–8% от общего энергопотребления.

Приводя к меньшему нагреву двигателя, сокращение потерь способствует и продлению срока службы изоляции обмоток, а также подшипников. Поэтому при переходе к использованию энергоэффективных двигателей во многих случаях:

- повышается надежность работы двигателя;
- сокращаются продолжительность простоев и затраты на техническое обслуживание;
- возрастает устойчивость к тепловым нагрузкам;
- улучшается способность к работе в условиях перегрузки;

- возрастает устойчивость к различным нарушениям эксплуатационных условий – повышенному и пониженному напряжению, несбалансированности фаз, искажению формы волн (гармоникам) и т.д.;
- увеличивается коэффициент мощности;
- снижается уровень шума.

Согласно общеевропейскому соглашению между Европейским комитетом производителей электротехнического оборудования и силовой электроники (CEMEP) и Европейской Комиссией, на большинстве электродвигателей, производимых в странах ЕС, четко указывается их уровень энергоэффективности. Европейская схема классификации электродвигателей, применяемая к двигателям мощностью менее 100 кВт, устанавливает три класса эффективности, обеспечивая стимулы для производства более эффективных моделей:

- EFF1 (высокоэффективные двигатели);
- EFF2 (двигатели стандартной эффективности);
- EFF3 (низкоэффективные двигатели).

Эта классификация применима к 2-х и 4-х полюсным трехфазным асинхронным двигателям переменного тока с короткозамкнутым ротором, номинальными напряжением и частотой 400 В и 50 Гц, номинальным режимом работы S1 и номинальной механической мощностью от 1,1 до 90 кВт. Именно на такие двигатели приходится наибольшая доля продаж на рынке. На рис. 3.27 показана зависимость энергоэффективности каждого из трех классов двигателей от номинальной мощности.

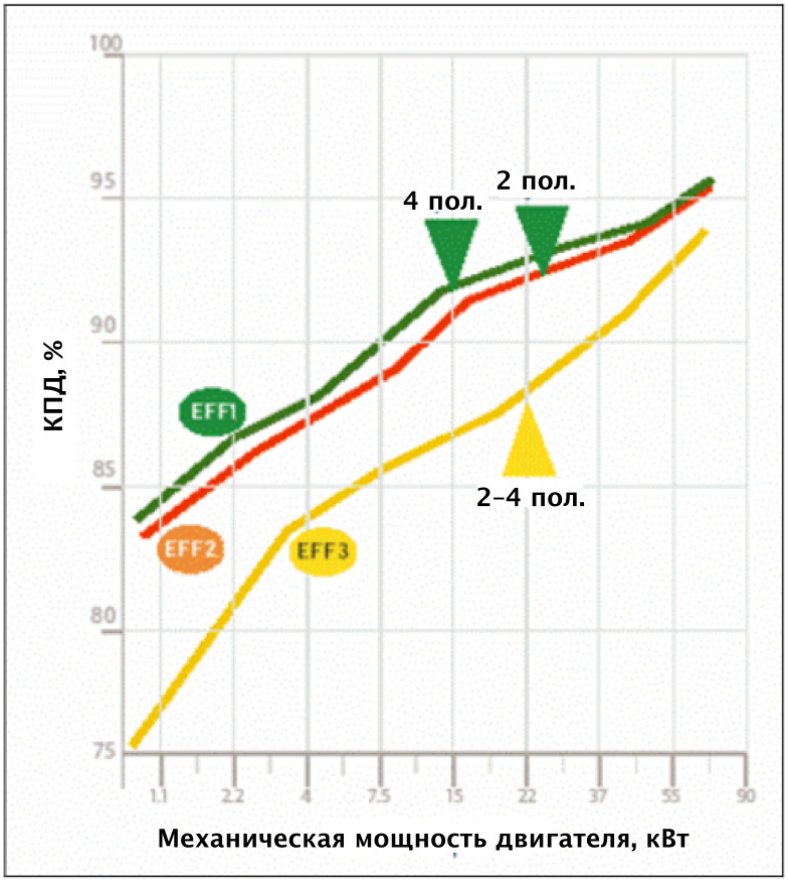


Рисунок 3.27: Энергоэффективность трехфазных индукционных электродвигателей

Ожидается, что производство двигателей классов EFF3 и EFF2 будет прекращено к 2011 г. во исполнение требований Директивы ЕС по экологическому проектированию энергопотребляющей продукции. Во время подготовки настоящего документа Международная электротехническая комиссия (МЭК) работала над созданием новой международной классификации электродвигателей, согласно которой двигатели классов EFF2 и EFF3 относятся к низшему классу

энергоэффективности, а двигатели с характеристиками, превосходящими EFF1, образуют новый высший класс.

Большую помощь в выборе оптимального двигателя может оказать специализированное программное обеспечение, например, Motor Master Plus[39] или EuroDEEM[40], рекомендуемое проектом EU-SAVE PROMOT.

При выборе оптимальных решений в области электроприводов может использоваться база данных EuroDEEM[41], в которой собраны данные об энергоэффективности более чем 3500 типов двигателей от 24 производителей.

3.6.2. Выбор оптимальной номинальной мощности двигателя

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Примерам» и «Мотивам внедрения» для методов повышения энергоэффективности двигателей приведена в разделе 3.6.7).

Очень часто номинальная мощность электродвигателя является избыточной с точки зрения нагрузки – двигатели редко эксплуатируются при полной нагрузке. По данным исследований, проводившихся на предприятиях стран ЕС, в среднем двигатели эксплуатируются при нагрузке, составляющей 60% номинальной.

Электродвигатели достигают максимального КПД при нагрузке от 60 до 100 % номинальной. Индукционные двигатели достигают максимального КПД при нагрузке около 75% номинальной, и величина КПД остается практически неизменной при снижении нагрузке до 50% номинала. При нагрузке ниже, чем 40% номинальной, условия работы двигателя существенно отличаются от оптимальных, и КПД снижается очень быстро. У двигателей высокой мощности порог, ниже которого происходит резкое снижение КПД, составляет около 30 % номинальной нагрузки.

Использование двигателей с оптимальной номинальной мощностью:

- способствует повышению энергоэффективности, позволяя эксплуатировать двигатели при максимальном КПД;
- может способствовать снижению потерь в сетях, связанных с низким коэффициентом мощности;
- может способствовать некоторому снижению частоты вращения вентиляторов и насосов и, как следствие, энергопотребления этих устройств.

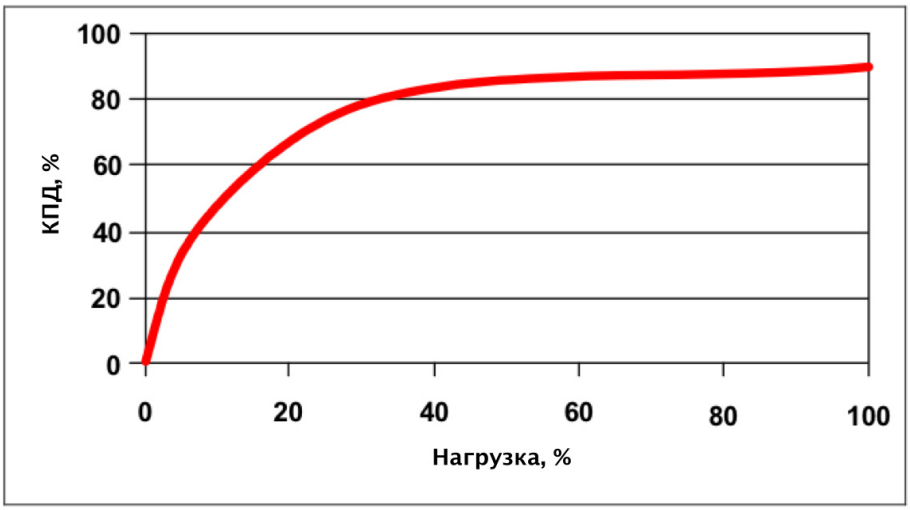


Рисунок 3.28: Зависимость КПД электродвигателя от его нагрузки

[39] Программа разрабатывается при поддержке Министерства энергетики США.
[40] Программа разрабатывается при поддержке Европейской Комиссии (Генеральная дирекция по энергетике и транспорту).
[41] Публикуется Европейской Комиссией.

3.6.3. Приводы с переменной скоростью

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Примерам» и «Мотивам внедрения» для методов повышения энергоэффективности двигателей приведена в разделе 3.6.7).

Использование приводов с переменной скоростью, представляющих собой сочетание электродвигателя с регулирующим устройством, способно привести к значительному энергосбережению, связанному с более эффективным управлением характеристиками технологического процесса. Другие положительные эффекты применения таких устройств включают, в частности, уменьшение износа механического оборудования и снижение уровня шума. При работе в условиях переменной нагрузки приводы с переменной скоростью позволяют существенно снизить уровень энергопотребления. В частности, для таких применений, как центробежные насосы, компрессоры и вентиляторы, сокращение энергопотребления, может находиться в диапазоне -4–50%. Использование приводов с переменной скоростью способствует сокращению уровня энергопотребления и повышению общей производительности таких устройств по обработке материалов, как центрифуги, мельницы и различные станки, а также таких устройств по перемещению материалов, как накаты (лентопротяжные механизмы), конвейеры и подъемники.

Прочие возможные положительные эффекты использования приводов с переменной скоростью включают:

- расширение диапазона возможных режимов эксплуатации исполнительного устройства;
- изоляцию двигателей от сетей, что может способствовать более стабильному режиму работы двигателей и повышению КПД;
- возможность точной синхронизации нескольких двигателей;
- повышение скорости и надежности реагирования на изменение рабочих условий.

Приводы с переменной скоростью не являются оптимальным решением для любых условий. В частности, их применение не является оправданным в условиях постоянной нагрузки (например, для дутьевых вентиляторов печей кипящего слоя, компрессоров окислительного воздуха и т.д.), поскольку потери в регулирующем устройстве составляют 3–4% потребляемой энергии (преобразование частоты, корректировка фазы).

3.6.4. Потери при передаче механической энергии

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Примерам» и «Мотивам внедрения» для методов повышения энергоэффективности двигателей приведена в разделе 3.6.7).

Передаточные механизмы, включая валы, ремни, цепи и зубчатые передачи, требуют надлежащей установки и технического обслуживания. При передаче механической энергии от двигателя к исполнительному устройству имеют место потери энергии, которые могут варьировать в широком диапазоне, от 0 до 45%, в зависимости от конкретных условий. По возможности следует использовать синхронные ременные передачи вместо клиновидных. Зубчатые клиновидные передачи являются более эффективными, чем традиционные клиновидные. Косозубая цилиндрическая (геликоидальная) передача является значительно более эффективной, чем червячная. Жесткое соединение является оптимальным вариантом там, где его применение допускается техническими условиями, тогда как применения клиновидных ременных передач следует избегать.

3.6.5. Ремонт двигателей

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Примерам» и «Мотивам внедрения» для методов повышения энергоэффективности двигателей приведена в разделе 3.6.7).

При эксплуатации электродвигателей существует вероятность отказа, в особенности, если мощность двигателя превышает 5 кВт. Нередко такие двигатели ремонтируются несколько раз на протяжении срока службы. Данные испытаний показывают, что некачественный ремонт двигателя может приводить к снижению КПД на 0,5–1 %, а в некоторых случаях – на 4% и более (для старых двигателей).

Выбирая между ремонтом и заменой вышедшего из строя двигателя, следует рассмотреть ряд факторов, включая стоимость электроэнергии, мощность двигателя, средний уровень загрузки, а также время работы (ч/год). Следует уделить должное внимание процессу ремонта и выбору ремонтной организации, которая должна быть авторизована производителем двигателя («организация, обеспечивающая энергоэффективность ремонтируемых двигателей», EEMR).

Как правило, приобретение энергоэффективного двигателя взамен отказавшего является оправданным, если от двигателя требуется значительное время работы. Например, в условиях, когда время работы двигателей составляет 4000 ч/год, стоимость электроэнергии составляет 0,06 евро/кВт·ч, а требуемая мощность находится в диапазоне 20–130 кВт, срок окупаемости затрат в случае замены на энергоэффективный двигатель составляет менее 3 лет.

3.6.6. Перемотка

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Примерам» и «Мотивам внедрения» для методов повышения энергоэффективности двигателей приведена в разделе 3.6.7).

Перемотка двигателей широко практикуется в промышленности. Это более дешевый и во многих случаях более быстрый вариант, чем приобретение нового двигателя. Однако перемотка двигателя может привести к снижению его КПД более чем на 1%. Следует уделить должное внимание процессу ремонта и выбору ремонтной организации, которая должна быть авторизована производителем двигателя («организация, обеспечивающая энергоэффективность ремонтируемых двигателей», EEMR). Дополнительные затраты, связанные с приобретением нового двигателя, могут быстро окупиться вследствие более высокой энергоэффективности, поэтому перемотка может оказаться неоптимальным решением с учетом затрат на протяжении всего срока службы. Зависимость затрат, связанных с приобретением нового двигателя и перемоткой существующего, от мощности представлена на рис. 3.29.

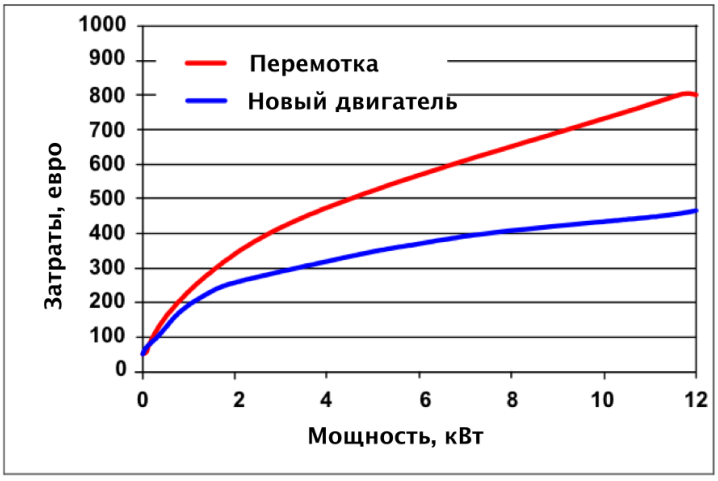


Рисунок 3.29: Затраты, связанные с приобретением нового двигателя и перемоткой существующего

3.6.7. Экологические преимущества, воздействие на различные компоненты окружающей среды, применимость и другие соображения относительно методов повышения энергоэффективности систем с электроприводом

Экологические преимущества

В табл. 3.22 представлены потенциально значимые методы повышения энергоэффективности систем с электроприводом. В таблице приведены характерные величины; фактические значения зависят от условий конкретного предприятия.

Метод повышения энергоэффективности подсистемы с электроприводом	Характерная величина энергосбережения (%)
Установка нового или реконструкция существующего оборудования	
Энергоэффективные двигатели	2–8
Подбор двигателя с оптимальной номинальной мощностью	1–3
Ремонт двигателя, обеспечивающий энергоэффективность (EEMR)	0,5–2
Приводы с переменной скоростью	-4–50
Высокоэффективные передачи/трансмиссии и редукторы	2–10
Управление качеством электроснабжения	0,5–3
Эксплуатация и техническое обслуживание системы	
Смазка, регулировка, настройка	1–5

Таблица 3.22: Методы повышения энергоэффективности подсистемы с электроприводом

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Гармоники, создаваемые регуляторами скорости, могут приводить к дополнительным потерям энергии в двигателях и трансформаторах (см. раздел 3.5.2). Производство энергоэффективного двигателя требует большего количества природных ресурсов (меди и стали).

Применимость

Системы с электроприводом имеются практически на всех промышленных предприятиях, где доступна электроэнергия.

Практическая применимость конкретных методов и экономический эффект от их применения зависят от масштабов и конкретных условий предприятия. Выбор мероприятий, одновременно удовлетворяющих критериям практической реализуемости и экономической эффективности, целесообразно осуществлять на основе анализа потребностей предприятия в целом и конкретной системы (подсистемы). Этот анализ должен осуществляться силами квалифицированного консультанта в области электроприводов или собственного инженерного персонала предприятия, обладающего надлежащей квалификацией. В частности, тщательный анализ такого рода важен при рассмотрении вариантов, связанных с приводами с переменной скоростью и энергоэффективными двигателями, поскольку при определенных условиях внедрение этих устройств может привести не к энергосбережению, а к дополнительным энергозатратам. Кроме того, важно оценить как предлагаемые планы внедрения новых систем с электроприводом, так и потенциал модернизации существующих систем. Итогом такого анализа должен быть перечень мероприятий, применимых в условиях конкретного предприятия, с оценкой объемов сбережения, затрат и срока окупаемости каждого мероприятия.

Например, при производстве энергоэффективных двигателей используется больше материалов (меди и стали), чем при производстве традиционных двигателей. При этом энергоэффективные двигатели характеризуются более высоким КПД, но также и меньшим скольжением (следствием

чего является более высокая частота вращения) и более высокой величиной пускового тока. Ниже приведено несколько примеров ситуаций, в которых использование энергоэффективного двигателя не является оптимальным решением:

- при эксплуатации системы ОВКВ в условиях полной нагрузки замена традиционного двигателя на энергоэффективный приводит к увеличению скорости вращения вентиляторов (вследствие меньшей величины скольжения) и, как следствие, момента нагрузки. В этом случае внедрение энергоэффективного двигателя может привести к увеличению энергопотребления по сравнению с традиционным приводом. В случае использования энергоэффективного двигателя конструктивная схема должна предусматривать меры, позволяющие избежать увеличения частоты вращения конечного оборудования;
- если система эксплуатируется менее 1–2 тыс. ч/год, внедрение энергоэффективного двигателя может не внести существенного вклада в энергосбережение (см. «Экономические аспекты» ниже);
- если система часто запускается и останавливается, сэкономленная электроэнергия может быть израсходована вследствие более высокого пускового тока, характерного для энергоэффективных двигателей;
- если система обычно функционирует с частичной нагрузкой (например, насосы), но на протяжении длительного времени, объемы энергосбережения в результате внедрения энергоэффективного двигателя могут оказаться незначительными по сравнению с потенциалом привода с переменной скоростью.

Экономические аспекты

Затраты на приобретение энергоэффективного двигателя превышают стоимость традиционного двигателя примерно на 20%. Примерное распределение затрат, связанных с установкой и эксплуатацией двигателя, за весь срок службы показано на рис. 3.30:



Рисунок 3.30: Затраты на протяжении срока службы электродвигателя

При приобретении или ремонте электродвигателя важно оценить энергопотребление и рассмотреть возможности его минимизации с учетом следующих соображений:

- для двигателей переменного тока период окупаемости может составлять 1 год или даже меньше;
- для двигателя с повышенной энергоэффективностью может требоваться более длительный период окупаемости за счет энергосбережения.

Срок окупаемости для мероприятий по повышению энергоэффективности, например, приобретения энергоэффективного двигателя вместо перемотки вышедшего из строя традиционного, можно оценить следующим образом:

$$Период\ окупаемости\ (лет) = \frac{Затр_{ЭЭД} - Затр_{пер}}{кВт \cdot Н \cdot Затр_{эл} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{пер}} - \frac{1}{\eta_{ЭЭД}} \right)}$$ **Уравнение 3.11**

где:

$Затр_{ЭЭД}$ –затраты на приобретение энергоэффективного двигателя;

$Затр_{пер}$ –затраты на перемотку существующего двигателя;

$Затр_{эл}$ – стоимость электроэнергии;

$кВт$ – средняя мощность, потребляемая двигателем.

Мотивы внедрения

- приводы переменного тока часто используются с целью обеспечения лучшего управления машинами и механизмами;
- при выборе двигателя имеют значение и другие факторы, например, безопасность, качество и надежность, реактивная мощность, периодичность технического обслуживания.

Примеры

- LKAB (Швеция): это горнодобывающее предприятие потребляет 1700 ГВт·ч электроэнергии в год, причем 90% энергопотребления приходится на 15 тыс. электродвигателей. Перейдя на высокоэффективные двигатели, предприятие смогло сократить ежегодные затраты на энергию на несколько сот тысяч долларов (дата не указана);
- фабрика по производству продуктов питания компании Heinz (Великобритания): новый энергетический центр будет на 14% эффективнее благодаря использованию дутьевых вентиляторов, управляемых приводами переменного тока. В энергетическом центре, заменившем ранее существовавшую котельную, имеется четыре котлоагрегата.

Справочная информация

[137, EC, 139, US_DOE, 231, The motor challenge programme, 232, 60034-30]

3.7. Системы сжатого воздуха

Общая характеристика

Сжатый воздух представляет собой воздух, который хранится и используется под давлением, превышающим атмосферное. Системы сжатого воздуха принимают определенную массу атмосферного воздуха, занимающую определенный объем, и сжимают ее до меньшего объема.

На системы сжатого воздуха приходится до 10% промышленного потребления электроэнергии, или около 80 ТВт·ч/год в 15 государствах-членах ЕС.

Сжатый воздух используется двумя основными способами:

- как компонент технологического процесса, например, для:
    - производства азота низкой степени чистоты с целью создания инертной атмосферы для технологического процесса;
    - производства кислорода низкой степени чистоты в качестве окислителя, например, при очистке сточных вод;
    - для организации чистых производственных помещений, защиты от загрязнения и т.п.;
    - перемешивания при высоких температурах, например, расплавленной стали или стекла;

- выдувания стеклянных изделий или вытягивания волокон;
- литья пластмасс;
- пневматической сортировки;

- в качестве энергоносителя, например, для:
  - приведения в действие инструментов, работающих на сжатом воздухе;
  - приведения в действие пневматических исполнительных устройств (например, цилиндров).

На предприятиях КПКЗ сжатый воздух используется, главным образом, в качестве компонента технологического процесса. Требуемое давление и чистота воздуха, а также временной график его потребления определяются условиями конкретного технологического процесса.

По своей природе использование сжатого воздуха является чистой и безопасной технологией вследствие низкого риска воспламенения или взрыва, как самопроизвольного, так и при контакте с горячими деталями. Вследствие этого сжатый воздух широко применяется на предприятиях, характеризующихся повышенной опасностью, например, на химических и сходных производствах. В отличие от систем электроснабжения, системы сжатого воздуха не требуют возвратного трубопровода или кабеля. Пневматические системы, применяемые для приведения устройств в движение, характеризуются высокой плотностью энергии и, в случае использования устройств объемного (вытесняющего) типа обеспечивают постоянный крутящий момент при постоянном давлении даже при низких скоростях вращения. С точки зрения многих практических применений, это является преимуществом перед электрическими устройствами. Пневматические системы легко адаптируются к меняющимся потребностям технологического процесса (в т.ч. при высоком уровне потребностей), а для управления ими могут использоваться устройства пневматической логики. Системы пневматической логики легко устанавливаются (хотя в последнее время они вытесняются дешевыми электронными устройствами).

Механические устройства с пневмоприводом часто используются там, где необходимы короткие и быстрые движения с небольшим усилием или, напротив, для создания значительного усилия при небольшой скорости. В частности, они могут использоваться в сборочных устройствах и процессах (как с ручным, так и с автоматизированным управлением). Доступны и электрические устройства для тех же целей, например, ударные магниты для коротких быстрых движений или приводы с резьбовым штоком, способные развивать значительное усилие. Однако преимуществом пневматических устройств является малая величина отношения массы к мощности, что позволяет использовать их на протяжении длительных периодов времени без перегрева и с незначительными затратами на техническое обслуживание.

Тем не менее, при наличии каких-либо ограничений для использования сжатого воздуха должны быть рассмотрены альтернативные варианты привода.

Во многих случаях системы снабжения сжатым воздухом представляют собой неотъемлемую часть производственного предприятия и должны анализироваться параллельно с общими потребностями производства в сжатом воздухе. На предприятиях КПКЗ системы сжатого воздуха являются значительным потребителем энергии; на них может приходиться 5–25 % общего энергопотребления предприятия. В силу возрастающего значения энергоэффективности производители компрессорного и другого пневматического оборудования разрабатывают технологии и инструменты для оптимизации существующих систем сжатого воздуха, а также внедрения новых, более эффективных систем

В настоящее время важнейшим фактором инвестиционных решений, в особенности, при внедрении новой системы сжатого воздуха, является анализ затрат на протяжении жизненного цикла системы. Энергоэффективность рассматривается в качестве важного критерия при проектировании новых систем сжатого воздуха, и существует значительный потенциал для оптимизации существующих систем. Срок службы крупного компрессора составляет 15-20 лет. За это время характер потребностей производства в сжатом воздухе может измениться, что приводит к необходимости пересмотра общего устройства системы. Кроме того, появляются новые технологии, которые могут использоваться для повышения энергоэффективности существующих систем.

В целом, выбор энергоносителя для технологического процесса (например, сжатого воздуха), зависит от многих характеристик самого процесса и предприятия, вследствие чего соответствующее решение должно приниматься в каждом отдельном случае на основе анализа конкретных условий.

Энергоэффективность в системах сжатого воздуха

В большинстве существенных применений сжатого воздуха в обрабатывающей промышленности этот ресурс является неотъемлемым компонентом технологического процесса. При этом многих случаях использование сжатого воздуха или конкретный метод его применения не могут быть заменены какой-либо другой технологией без существенной реорганизации процесса в целом. В этих условиях энергоэффективность системы сжатого воздуха полностью или преимущественно определяется эффективностью производства, подготовки и распределения сжатого воздуха.

В свою очередь, энергоэффективность производства, подготовки и транспортировки сжатого воздуха определяется качеством проектирования, реализации, эксплуатации и технического обслуживания соответствующей системы. Конструкция системы должна обеспечивать эффективное удовлетворение потребностей производства в сжатом воздухе. До реализации мер по оптимизации энергоэффективности системы сжатого воздуха необходимо проанализировать технологические процессы, потребляющие сжатый воздух, и потребности этих процессов. Целесообразно интегрировать деятельность по обеспечению эффективности системы сжатого воздуха в общую систему менеджмента энергоэффективности, поддержав эту деятельность такими средствами, как достоверный аудит системы и база данных по ее характеристикам (см. разделы 2.1 и 2.15.1).

В 2000 г. в рамках европейской программы SAVE было выполнено исследование по анализу потенциала энергоэффективности систем сжатого воздуха. Хотя исследованием были охвачены все применения без учета специфики предприятий КПКЗ (которые, как правило, характеризуются большей мощностью систем), его результаты дают хорошее представление о возможных методах повышения энергоэффективности таких систем и их потенциале. Сводка соответствующих методов приведена в табл. 3.23.

Метод повышения энергоэффективности	**% применимости (1)**	**% энергосбережения (2)**	**% потенциального вклада (3)**	**Примечание**
Установка новой или реконструкция существующей системы				
Усовершенствование приводов компрессоров (высокоэффективные двигатели)	25	2	0,5	Наиболее эффективно в небольших системах (<10 кВт)
Усовершенствование приводов компрессоров (регулирование скорости)	25	15	3.8	Применимо в системах с переменной нагрузкой. В системах с несколькими приводами целесообразно оборудовать устройством регулирования скорости лишь один из них. Оценка потенциала энергосбережения относится к системе в целом, независимо от того, имеется ли в ней один или несколько приводов.
Модернизация компрессора	30	7	2,1	
Использование усовершенствованной системы управления	20	12	2,4	

Утилизация отходящего тепла для других применений	20	20–80	4,0	Этот метод приводит к увеличению общего количества доступной энергии, но не к сокращению производства электроэнергии (часть электроэнергии преобразуется в полезное тепло)
Улучшение процессов охлаждения, сушки и фильтрации сжатого воздуха	10	5	0,5	Более частая замена фильтров рассматривается отдельно (см. ниже)
Оптимизация общего устройства системы, включая системы с несколькими уровнями давления	50	9	4,5	
Сокращение фрикционных потерь давления (например, посредством увеличения диаметра трубопроводов)	50	3	1,5	
Оптимизация некоторых устройств, потребляющих сжатый воздух	5	40	2,0	
Эксплуатация и техническое обслуживание системы				
Сокращение утечек воздуха	80	20	16,0	Наибольший потенциал энергосбережения
Более частая замена фильтров	40	2	0,8	
ВСЕГО			32,9	
Примечания к заголовку таблицы: (1) применимость – доля систем, где данный метод может применяться экономически эффективным образом; (2) энергосбережение – сокращение годового энергопотребления в результате применения метода (3) потенциальный вклад – произведение применимости и энергосбережения				

Таблица 3.23: Методы повышения энергоэффективности систем сжатого воздуха

[168, PNEUROP, 2007]

При использовании механических устройств с пневмоприводом следует иметь в виду, что «механический КПД» такого устройства определяется как отношение мощности на валу устройства к общей электрической мощности, потребляемой для производства сжатого воздуха, используемого устройством. Как правило, эта величин находится в диапазоне 10–15 %.

Экологические преимущества

Основной целью рассматриваемых методов является проектирование или модификация системы сжатого воздуха таким образом, который позволяет повысить ее энергоэффективность. Дополнительные положительные эффекты повышения энергоэффективности могут включать снижение уровня шума и расхода охлаждающей воды. Срок службы систем сжатого воздуха и компрессорного оборудования относительно велик, вследствие чего затраты материалов при замене оборудования незначительны.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия систем сжатого воздуха могут включать выбросы масляных паров и шумовое воздействие. Прочие воздействия подобных систем на окружающую среду незначительны по сравнению с их энергопотреблением.

Как правило, система сжатого воздуха представляет собой независимую подсистему промышленного предприятия, и большинство возможных изменений в этой системе не затрагивает других систем или технологических процессов. При использовании сжатого воздуха в

других технологических процессах следует учитывать энергозатраты, связанные с его производством (см. раздел 1.3).

Производственная информация

Компоненты системы сжатого воздуха

Система сжатого воздуха, независимо от ее конкретного применения, включает четыре основных подсистемы:

- производство сжатого воздуха;
- хранение сжатого воздуха;
- подготовка сжатого воздуха;
- распределение сжатого воздуха.

Помимо этого, в состав системы могут входить такие вспомогательные подсистемы, как, например, утилизация тепла или сбор конденсата.

Типичные компоненты подсистем перечислены в табл. 3.24:

Производство	Хранение	Подготовка	Распределение	Вспомогательные системы
Компрессор	Резервуар	Осушитель	Трубопроводы	Утилизация тепла
Система управления		Фильтр	Клапаны	Конденсатоотводчики
Охладитель				

Таблица 3.24: Типичные компоненты системы сжатого воздуха

[168, PNEUROP, 2007]

Схема системы сжатого воздуха с типичными компонентами представлена на рис. 3.31.

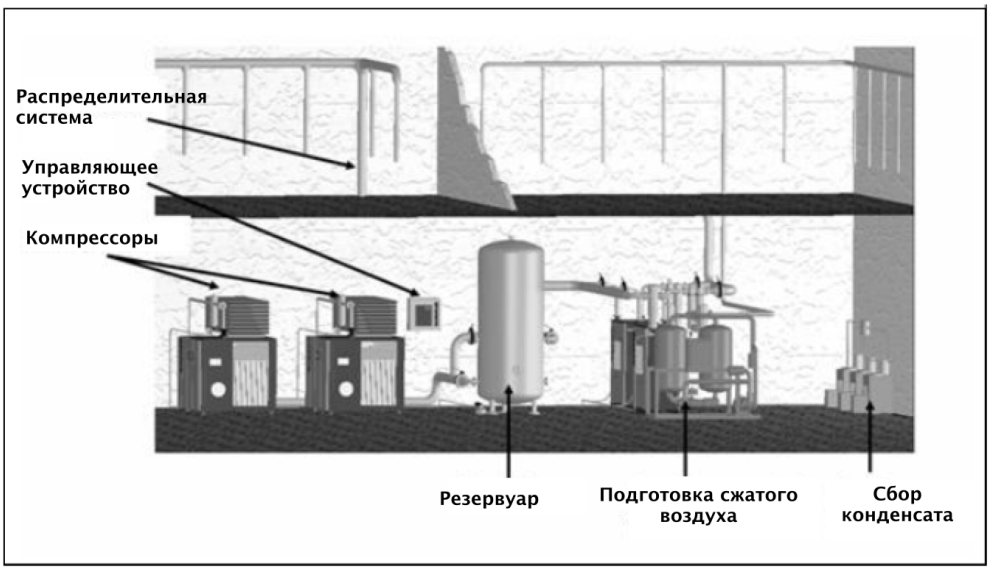


Рисунок 3.31: Типичные компоненты системы сжатого воздуха

[168, PNEUROP, 2007]

Как правило, на промышленном предприятии имеется несколько компрессоров, единая система подготовки сжатого воздуха и разветвленная распределительная система. Кроме того, некоторые виды оборудования – например, ткацкие или стекольные машины – могут иметь встроенную специализированную систему для снабжения их сжатым воздухом. Даже для конкретных применений не существует стандартного проекта системы сжатого воздуха. Необходимо подбирать компоненты и обеспечивать их оптимальное взаимодействие в зависимости от характеристик конкретного технологического процесса и условий производства.

Типы компрессоров

КПД компрессора зависит от его типа и конструкции. КПД и, как следствие, эксплуатационные затраты, являются важнейшим фактором при выборе компрессора, однако на выбор могут влиять и другие требования, например, к количеству и качеству сжатого воздуха.

По принципу действия воздушные компрессоры подразделяются на две основные группы – объемные и динамические компрессоры. Каждая из этих групп далее подразделяется на несколько разновидностей (см. рис. 3.32 и текст ниже):

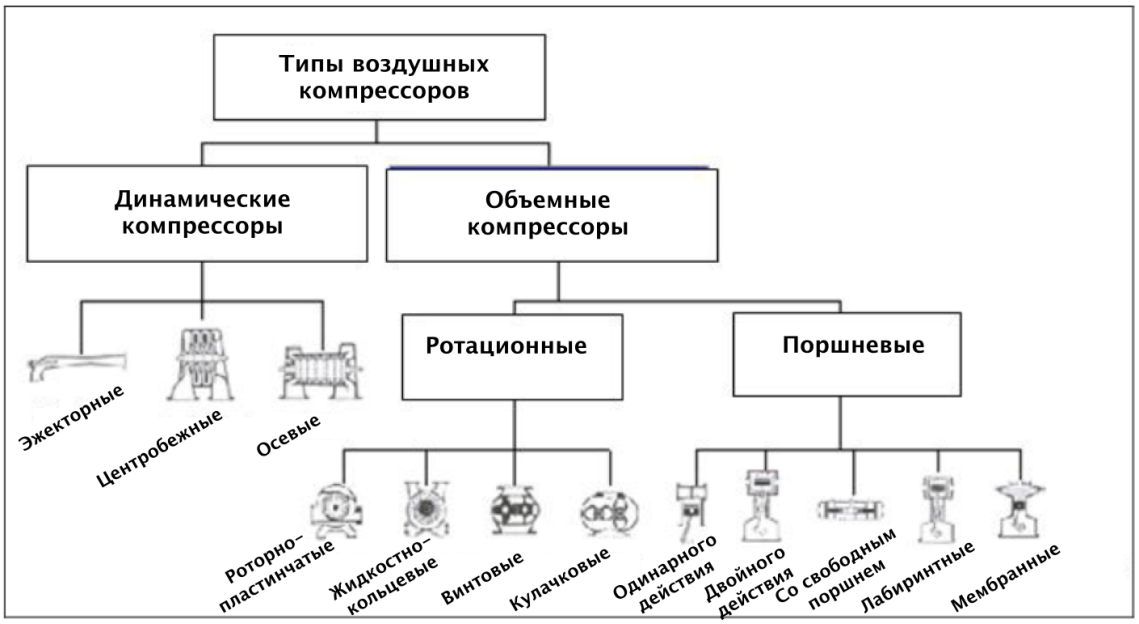


Рисунок 3.32: Типы компрессоров

[168, PNEUROP, 2007]

- **объемные компрессоры** увеличивают давление данного количества воздуха посредством уменьшения объема, занимаемого воздухом. Этот тип компрессоров подразделяется на две основные разновидности – поршневые и ротационные компрессоры, – каждая из которых, в свою очередь, состоит из нескольких подтипов:
    - *поршневые компрессоры* используют для сжатия воздуха движение поршня в цилиндре. Существуют поршневые компрессоры одинарного и двойного действия;
    - *ротационные винтовые компрессоры* являются наиболее широко применяемым типом промышленных компрессоров в диапазоне мощности от 40 л.с. (30 кВт) до 500 л.с. (373 кВт). Существуют как маслосмазываемые, так и безмасляные компрессоры данного типа. Их популярность обусловлена такими особенностями, как относительная простота конструкции и установки, незначительный объем и простота требуемого технического обслуживания, длительный срок службы и приемлемая стоимость;

динамические компрессоры действуют по принципу сообщения непрерывному потоку газа скорости, которая затем преобразуется в давление, как во вращающемся элементе, так и с помощью неподвижных диффузоров или лопаток. Производительность динамического компрессора существенно варьирует в зависимости от рабочего давления.

Применимость

Любая система сжатого воздуха представляет собой сложную техническую систему, требующую проектирования квалифицированными специалистами и применения определенных метод оптимизации. Выбор оптимальных проектных решений зависит от многих факторов, включая:

- временной график потребности в сжатом воздухе (включая пиковые значения);

- требуемое качество сжатого воздуха;
- требуемое давление;
- пространственные ограничения, связанные с планировкой конкретного здания или предприятия.

Например, стандарт ISO 8573-1 классифицирует качество сжатого воздуха исходя из содержания трех видов загрязняющих веществ. Для каждого вещества определен целый ряд классов, что показывает разнообразие возможных требований к качеству сжатого воздуха, обусловленных особенностями конкретного применения:

- твердые частицы – 8 классов;
- влажность и вода в виде капель – 10 классов;
- общее содержание масел – 5 классов.

Не существует универсальных методов повышения энергоэффективности, которые могли бы применяться к существенно различающимся системам без учета специфических характеристик последних. В качестве примера возможных различий между системами на рис. 3.33 представлены временные графики потребности в сжатом воздухе для двух разных систем.

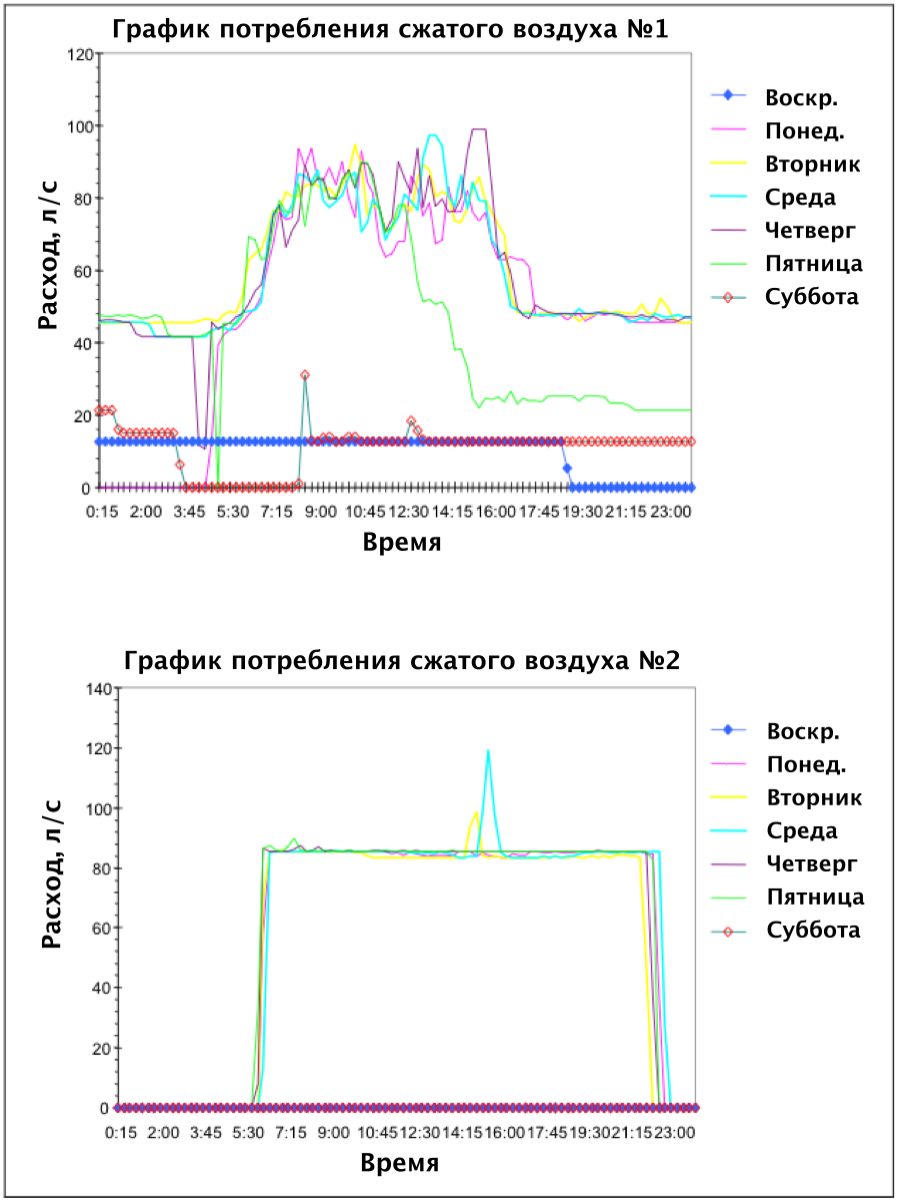


Рисунок 3.33: Графики потребностей в сжатом воздухе для двух систем

[168, PNEUROP, 2007]

Ниже приводится краткое описание возможных подходов к оптимизации энергоэффективности систем сжатого воздуха (см. разделы 3.7.1–3.7.10). Необходимыми предпосылками для проектирования новой или оптимизации существующей системы сжатого воздуха являются наличие экспертов, обладающих необходимой квалификацией, а также анализ имеющихся потребностей в сжатом воздухе.

Как отмечено в главе 2, методы оптимизации сложных систем должны подбираться и оцениваться для каждого случая исходя из конкретных условий.

Экономические аспекты

Стоимость сжатого воздуха существенно варьирует от одной европейской компании к другой в диапазоне от 0,006 до 0,097 евро/Нм^3 (для сравнения, в 2006 г. цены на электроэнергию составляли 0,052 евро/кВт·ч в Финляндии и 0,1714 евро/кВт·ч в Дании: исследование тарифов, выполненное компанией NUS Consulting). Согласно оценкам, 75% себестоимости сжатого воздуха приходится на энергопотребление, тогда как на капитальные затраты приходится лишь 13% себестоимости, а на техническое обслуживание – 12 % (оценка выполнена в предположении времени работы 6000 ч/год на протяжении пяти лет). Столь большая разница в стоимости сжатого воздуха отражает, главным образом, различие между оптимизированными и неоптимизированными системами. Важно принимать во внимание значение этого ключевого фактора при проектировании новых и эксплуатации существующих систем.

Затраты энергии на производство сжатого воздуха выражаются в форме удельного энергопотребления (УЭП), которое в данном случае имеет размерность Вт/Нм^3. Для качественно спроектированной в соответствии с потребностями и хорошо эксплуатируемой системы, работающей при номинальной производительности и давлении сжатого воздуха 7 бар, в качестве ориентира может использоваться следующий диапазон (учитывающий различие между различными типами компрессоров):

85 Вт/Нм^3 < УЭП < 130 Вт/Нм^3 [194, ADEME, 2007]

Величина удельного энергопотребления для конкретной системы сжатого воздуха отражает качество ее проектирования и эксплуатации. Важно знать эту величину и осуществлять ее регулярный мониторинг (см. информацию о сравнительном анализе в разделе 2.16), поскольку она может быстро ухудшиться, приведя к значительному росту затрат на производство сжатого воздуха.

Инициативы по оптимизации энергоэффективности систем сжатого воздуха уже предпринимались странами ЕС и производителями оборудования. Опыт этих инициатив показывает, что продуманное осуществление мероприятий, описываемых в настоящем разделе, приводит к хорошей окупаемости вложений.

Мотивы внедрения

Повышение энергоэффективности в сочетании с коротким периодом окупаемости является значимым мотивом для внедрения методов, обсуждаемых в настоящем разделе (обычные рыночные силы).

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[190, Druckluft, 191, Druckluft, 193, Druckluft] [168, PNEUROP, 2007, 169, EC, 1993, 194, ADEME, 2007] [189, Radgen&Blaustein, 2001, 196, Wikipedia]

3.7.1. Оптимизация общего устройства системы

Общая характеристика

В настоящее время общее устройство многих действующих систем сжатого воздуха не отвечает существующим условиям работы предприятия. Поэтапное добавление к системе новых компрессоров и потребителей сжатого воздуха без параллельного пересмотра исходного

устройства системы в целом часто приводит к тому, что системы работают в условиях, далеких от оптимума.

Одной из важнейших характеристик системы сжатого воздуха является давление, конкретная величина которого определяется рядом требований, зависящих от применения сжатого воздуха. Как правило, эта величина представляет собой компромисс между доводами в пользу низкого давления (более высокая энергоэффективность) и высокого давления (возможность использования меньших и более дешевых устройств). В большинстве случаев потребители используют давление 6 бар (м), однако требования к давлению могут достигать 13 бар (м). Часто давление системы выбирается исходя из максимального давления, необходимого потребителям.

Важно иметь в виду, что слишком низкое давление может привести к нарушению работы некоторых устройств, тогда как слишком высокое давление не вызывает негативных эффектов такого рода, но приводит к снижению эффективности (КПД) системы. Во многих случаях система функционирует при давлении 8 или 10 бар (м), однако при этом большая часть воздуха, подаваемого потребителям, дросселируется до уровня 6 бар (м).

Прогрессивной практикой является выбор давления в системе, удовлетворяющего требованиям потребителей 95% всего воздуха, и установка небольших устройств, повышающих давление, для остальных потребителей. Компания-оператор может попытаться устранить (заменить) устройства, требующие давления выше 6 бар (м), или установить две системы – одну с давлением 6,5 бар (м) и другую, рассчитанную на более высокое давление.

Еще одной важной характеристикой системы является объем резервуаров для хранения сжатого воздуха. Поскольку в большинстве случаев потребителями сжатого воздуха является множество устройств, лишь немногие из которых работают постоянно, потребность в сжатом воздухе подвержена значительным колебаниям. Достаточный объем резервуаров позволяет сглаживать колебания требований к производительности системы и удовлетворять краткосрочные пики спроса (см. раздел 3.7.10).

Сглаживание колебаний потребностей создает условия для более равномерной эксплуатации компрессоров меньшей мощности, что позволяет сократить время простоев и общее потребление электроэнергии. В системе может быть установлено несколько резервуаров. Продуктивным может быть и размещение резервуаров вблизи устройств, отличающихся краткосрочным интенсивным потреблением сжатого воздуха, что позволяет удовлетворять пиковые потребности и эксплуатировать систему при меньшем давлении.

Третьим фундаментальным вопросом, который должен быть решен при проектировании системы, является выбор диаметра трубопроводов и мест расположения компрессоров. Любые затруднения или препятствия для движения воздуха, так же, как и необходимость преодолевать длинные участки труб, приведет к падению давления. Как правило, в распределительных системах наибольшее падение давления имеет место у конечных устройств, где часто встречаются элементы недостаточного размера, включая рукава, трубы, соединения, фильтры, регуляторы и маслораспылители. Снижению фрикционных потерь может способствовать, в частности, использование сварных трубопроводов.

В некоторых случаях потребление сжатого воздуха на каком-либо участке предприятия постепенно растет по мере развития производства, в результате чего диаметр соответствующего ответвления оказывается недостаточным для возросшего расхода воздуха, что приводит к падению давления. Иногда некоторые устройства, потреблявшие сжатый воздух, выводятся из эксплуатации. В этом случае необходимо отключить максимальный участок трубопровода, ведущий к этому оборудованию, который можно перекрыть, не нанося ущерба действующим потребителям.

В системе, спроектированной надлежащим образом, падение давления между компрессором и конечным потребителем составляет менее 10% давления на выходе компрессора. Это может быть достигнуто при помощи: регулярного мониторинга падения давления, выбора осушителей, фильтров, шлангов и соединений, характеризующихся низким падением давления при проектных условиях, сокращения пути, проходимого воздухом в распределительной системе, а также пересчета необходимого диаметра трубопроводов в случае увеличения потребления сжатого воздуха.

Часто в категории «общее устройство системы» учитывается и то, как организовано использование воздуха на уровне конечного потребителя. В некоторых случаях такое использование может быть неэффективным – так, воздух может сначала сжиматься до избыточного давления, а потом расширяться, чтобы довести его давление до необходимого. Однако в настоящее время такие ситуации встречаются редко, поскольку в промышленности распространено понимание того, что сжатый воздух представляет собой значительный фактор затрат.

Экологические преимущества

Поддержание общего устройства системы сжатого воздуха на современном уровне позволяет снизить потребление электроэнергии.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Повышение энергоэффективности может требовать большего количества оборудования более высокого качества (больше труб и фильтров большего размера и т.п.).

Применимость

Энергоэффективность значительной части систем сжатого воздуха, составляющей, согласно оценкам, 50% всех систем, может быть улучшена посредством пересмотра общего устройства системы. При этом за счет снижения давления и подбора оптимальной емкости резервуаров может быть достигнуто среднее энергосбережение в размере 9% общего энергопотребления (в 50% систем), а за счет снижения падения давления в трубопроводах может быть достигнуто энергосбережение в размере 3% от общего потребления (в 50% систем). Таким образом, средний потенциал энергосбережения за счет мер подобного характера составляет 6% = 0,5 · (0,09 + 0,03).

Усовершенствование общего устройства системы может включать также оптимизацию некоторых конечных устройств. Согласно оценкам, за счет этих мер в 5% всех систем можно снизить потребление сжатого воздуха примерно на 40 %. Таким образом, средний потенциал энергосбережения за счет таких мер составляет 2% (т.е. 0,05 · 0,4).

Экономические аспекты и мотивы внедрения

Затраты на пересмотр общего устройства системы сжатого воздуха с последующей корректировкой давления и модернизацией части трубопроводов с трудом поддаются оценке и существенным образом зависят от условий конкретного предприятия. Возможный экономический эффект для системы средней производительности с потребляемой электрической мощностью 50 кВт может составлять:

50 кВт · 3000 ч/год · 0,08 евро/кВт · 10% = 1200 евро/год

При этом затраты на существенную модификацию системы, включая добавление резервуара емкостью 90 л у критически важного потребителя и отсечного клапана на редко используемом ответвлении, замену 20 м труб, а также 10 рукавов и разъединителей составляют около 2000 евро, так что период окупаемости составляет 1,7 года, что является привлекательной величиной. Часто затраты оказываются ниже, поскольку возможно обойтись одной лишь корректировкой давления в системе. Однако в любом случае необходим тщательный анализ системы с целью определения минимально возможного давления, отвечающего требованиям потребителей.

Экономические факторы являются основной движущей силой модернизации систем сжатого воздуха. Вместе с тем, значительным препятствием для этого является недостаток информации и/или квалифицированного персонала, ответственного за работу систем сжатого воздуха. Технический персонал может осознавать, что сжатый воздух является важным фактором затрат, но причины неэффективности могут быть неочевидны, а в распоряжении компании-оператора может не оказаться персонала с достаточной квалификацией и практическим опытом.

Предпринятые в ряде стран ЕС инициативы по распространению информации об энергоэффективности систем сжатого воздуха способствовали принятию соответствующих мер и формированию ситуации, выгодной для всех заинтересованных сторон: компания,

эксплуатирующая систему сжатого воздуха, получает возможность снизить затраты, поставщик компрессоров и другого оборудования получает дополнительные доходы от продажи более качественной продукции, а сокращение выбросов, связанных с производством электроэнергии, оказывается благоприятным для окружающей среды.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[168, PNEUROP, 2007, 194, ADEME, 2007]

3.7.2. Использование приводов с переменной скоростью

Общая характеристика

Компрессоры оборудуются приводами с переменной скоростью (см. раздел 3.6.3), главным образом, в условиях, когда потребности в сжатом воздухе существенно варьируют в течение дня и от одного дня к другому. Для управления работой компрессоров могут использоваться такие традиционные подходы, как включение/отключение, модуляция, регулирование производительности и т.п. Однако если использование подобных методов приводит к частым включениям и отключениям, а также длительным периодам холостого хода, результатом может быть снижение энергоэффективности. При использовании привода с переменной скоростью частота вращения электропривода компрессора плавно регулируется в зависимости от изменения потребности в сжатом воздухе, обеспечивая высокий уровень энергоэффективности.

По данным исследований, большинство систем сжатого воздуха характеризуется средними или значительными вариациями потребления. Поэтому существует значительный потенциал энергосбережения за счет оснащения компрессоров приводами переменной скорости.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды.

Отсутствует.

Производственная информация

Испытания, проведенные в независимой лаборатории, продемонстрировали высокий уровень энергосбережения в условиях, моделирующих типичные колебания потребления сжатого воздуха на производстве. Оснащение компрессоров приводами с переменной скоростью может обеспечить и ряд других положительных эффектов, помимо энергосбережения:

- достигается высокая стабильность давления воздуха, что является существенным для некоторых технологических процессов, чувствительных к этому параметру;
- коэффициент мощности значительно выше, чем при использовании традиционных приводов, что способствует снижению реактивной мощности;
- пусковой ток двигателя никогда не превышает ток его полной нагрузки. Как следствие, в электрических цепях можно использовать элементы, рассчитанные на меньший номинальный ток. Кроме того, пользователи могут избежать штрафов за пиковые уровни тока во время запуска двигателей, если такие штрафы взимаются энергетической компанией. Наконец, отсутствие резких пиков тока при пуске двигателя автоматически ведет к снижению потребления энергии;
- плавный пуск на низких скоростях, обеспечиваемый приводом с переменной скоростью, позволяет избежать пиков тока и крутящего момента, что ведет к снижению механического износа оборудования и электрической нагрузки, способствуя продлению срока службы компрессора;
- снижаются уровни шума, поскольку компрессор работает лишь тогда, когда это необходимо, с необходимой производительностью.

Применимость

Компрессоры, оснащенные приводом с переменной скоростью, могут применяться в различных отраслях, включая, например, металлургию, а также пищевую, текстильную и химическую промышленность, в тех случаях, когда имеют место значительные колебания уровня потребления сжатого воздуха. В ситуации, когда компрессоры непрерывно работают при полной или близкой к полной нагрузке, использование привода с переменной скоростью не приводит к значимому энергосбережению и не является оправданным (см. «Примеры» ниже).

Компрессоры с приводом переменной скорости могут быть установлены в существующей системе сжатого воздуха. Более того, регулятором частоты может быть оборудован уже имеющийся привод компрессора, рассчитанный на эксплуатацию с постоянной скоростью. Однако при совместной поставке двигателя и регулятора достигается больший эффект, поскольку эти устройства специально подбираются для максимально эффективной работы в определенном диапазоне скоростей. Целесообразно ограничить применение технологии приводов с переменной скоростью более современными компрессорами, поскольку при ее использовании со старыми компрессорами возможны проблемы. При наличии сомнений следует проконсультироваться с производителем или специалистом по системам сжатого воздуха.

Многие системы сжатого воздуха уже оборудованы приводами с переменной скоростью, так что потенциал для внедрения этой технологии в промышленности составляет около 25% существующих систем. Объем энергосбережения может достигать 30%, хотя средний эффект, достигаемый при добавлении к системе одного компрессора с приводом переменной скорости, составляет около 15%. Весьма вероятно, что установка компрессора с приводом переменной скорости оказалась бы полезным мероприятием для многих систем сжатого воздуха, в настоящее время не имеющих такого компрессора.

Экономические аспекты

Как правило, на энергию приходится 80% затрат за весь жизненный цикл компрессора, тогда как оставшиеся 20% приходятся на капитальные затраты и техническое обслуживание. Предприятие, где (согласно консервативной оценке) энергопотребление компрессора снижается на 15%, экономит 12% затрат за его жизненный цикл, в то время как дополнительные затраты на приобретение компрессора с приводом переменной скорости (вместо традиционного) увеличивает затраты за жизненный цикл всего на 2–5%.

Мотивы внедрения

Основными мотивами являются экономические и экологические соображения.

Примеры

На предприятии Norwegian Talc Ltd. в г. Хартлпул (Великобритания) были проведены испытания производительности установленного 18 месяцев назад винтового компрессора в соответствии со стандартом BS1571. При работе компрессора на уровне 50% номинальной производительности достигалось снижение энергопотребления на 9,4 кВт (или 9% потребляемой мощности при полной нагрузке). При меньшей нагрузке при определенных условиях экономия энергии была еще больше. Однако при работе в режиме полной нагрузки энергопотребление было на 4% выше вследствие потерь энергии в регуляторе частоты. Поэтому приводы с переменной скоростью не следует использовать с компрессорами, работающими в условиях нагрузки, близкой к полной, на протяжении длительных периодов.

Справочная информация

[168, PNEUROP, 2007, 194, ADEME, 2007, 195, DETR]

3.7.3. Высокоэффективные электродвигатели

Общая характеристика

Хотя официального определения высокоэффективного электродвигателя не существует, под этим термином обычно понимаются двигатели, в которых потери сведены к минимально возможному уровню. Приоритетом при проектировании высокоэффективных двигателей является минимизация как электрических, так и механических потерь с целью снижения

энергопотребления устройства. В мире существует ряд классификаций электродвигателей с точки зрения энергоэффективности. В рамках этих классификаций высокоэффективные двигатели относятся к высшим категориям, например, EFF1, NEMA premium и т.п. (см. раздел 3.6.1).

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- меньший потребляемый ток;
- меньшее тепловыделение.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Поскольку пониженный уровень потерь не накладывает ограничений на возможные применения двигателя, высокоэффективные двигатели могут применяться практически повсеместно. Такие двигатели уже применяются в большинстве крупных систем (75% всех систем); большую часть оставшихся 25% составляют более мелкие системы.

Экономические аспекты

Снижение энергопотребления даже на величину, которая кажется незначительной, – например, на 1–2% – способно привести к значительной общей экономии за весь срок службы двигателя.

Мотивы внедрения

Снижение затрат.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[168, PNEUROP, 2007, 194, ADEME, 2007, 195, DETR]

3.7.4. Централизованная система управления системой сжатого воздуха

Общая характеристика

На большинстве предприятий КПКЗ в состав системы сжатого воздуха входит несколько компрессоров. Общая энергоэффективность такой системы может быть существенно повышена за счет внедрения центрального управляющего устройства (системы управления), способного получать производственную информацию от компрессоров и полностью или частично управлять режимами их работы.

Эффективность такого управляющего устройства существенно зависит от возможностей коммуникационных каналов между ним и производственным оборудованием. Конкретная реализация этих каналов может варьировать от простых реле с плавающим контактом до сетей, использующих протоколы систем автоматизации производства. Усовершенствование каналов связи открывает дополнительные возможности для получения производственной информации от компрессоров, управления работой отдельных компрессоров, а также оптимизации общего энергопотребления системы сжатого воздуха.

Стратегия управления, реализуемая при помощи управляющего устройства, должна учитывать характеристики отдельных компрессоров и, в частности, допускаемые ими режимы управления. Ниже приводится обсуждение типичных режимов управления компрессорами и их влияния на общие подходы к управлению системой. Наиболее распространенными режимами управления отдельными компрессорами являются:

- переключение между режимами нагрузки (рабочего хода), холостого хода и остановки;

- плавное регулирование частоты вращения.

Развитая современная система управления системой сжатого воздуха в сочетании с управляющими устройствами отдельных компрессоров может обладать следующими характеристиками:

- развитые коммуникационные возможности (например, на основе сетевых протоколов автоматизации);
- полный доступ центрального управляющего устройства к информации о функционировании отдельных компрессоров;
- возможность всестороннего управления режимом работы всех компрессоров со стороны центрального управляющего устройства;
- возможность оптимизации общей стратегии управления на основе самообучения, включая распознавание характерных особенностей конкретной системы сжатого воздуха;
- определение состояний системы (сочетаний нагрузки, холостого хода и остановки отдельных компрессоров), характеризующихся высокой энергоэффективностью, использование этих состояний и переход между ними с целью удовлетворения общей потребности в сжатом воздухе;
- эффективное управление компрессорами с приводами переменной скорости, позволяющее компенсировать краткосрочные колебания потребности в сжатом воздухе и избегать длительной работы компрессоров в неэффективных режимах, в частности, с постоянной низкой скоростью;
- минимизация частоты останова/запуска и продолжительности периодов холостого хода компрессоров с постоянной скоростью;
- использование сложных моделей и методов прогнозирования общего потребления сжатого воздуха, включая, в частности, выявление регулярностей и периодических циклов потребления (например, суточных и недельных циклов, распределения потребностей по конкретным потребителям и т.п.);
- дополнительные функции, например, удаленный мониторинг, сбор информации о производстве, планирование технического обслуживания, возможность дистанционного технического обслуживания и/или передача предварительно обработанной производственной информации через веб-серверы;
- мониторинг состояния и управление другими компонентами системы сжатого воздуха, помимо компрессоров.

Экологические преимущества

- повышение энергоэффективности;
- снижение силы потребляемого тока и тепловыделения.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

- *в системах с единственным компрессором*: оптимальным является режим функционирования системы, при котором компрессор непрерывно работает при постоянной скорости и оптимальном КПД. Однако в условиях, когда потребление сжатого воздуха не является постоянным, остановка компрессора или его перевод на холостой ход во время длительного перерыва в потреблении может оказаться более эффективным решением;
- **компрессоры без возможности регулирования скорости** работают с постоянной скоростью и могут переключаться между режимами нагрузки (работы с полной производительностью), холостого хода или остановки (в двух последних режимах

производительность компрессора является нулевой). В некоторых случаях может быть необходима работа компрессора на холостом ходу вместо остановки. Это имеет место в том случае, когда для обеспечения необходимой производительности и давления системы необходимы более частые переключения между полной и нулевой нагрузкой, чем допустимая частота останова/запуска электропривода.

Мощность, потребляемая компрессором на холостом ходу, как правило, составляет, 20–25% мощности, потребляемой при полной нагрузке. Дополнительные потери связаны с продувкой компрессора при остановке, а также высоким пусковым током электродвигателя. В системах с единственным компрессором частота переключения между режимами непосредственно зависит от динамики нагрузки (потребности в сжатом воздухе), объема резервуара для временного хранения сжатого воздуха, допустимого диапазона давлений в системе, а также номинальной производительности компрессора.

В случае неадекватного выбора параметров управления системой средняя эффективность (КПД) компрессора, работающего в прерывистом режиме, может быть значительно ниже, чем в условиях постоянной работы при полной нагрузке. В таких условиях интеллектуальное управляющее устройство, оптимизирующее параметры работы компрессора в прерывистом режиме может быть действенным средством повышения энергоэффективности системы сжатого воздуха. Управляющие устройства разрабатываются и программируются таким образом, чтобы свести к минимуму продолжительность работы на холостом ходу и частоту переключения за счет использования ряда стратегий. В частности, такое устройство может непосредственно останавливать компрессор в ситуации, когда температура двигателя (оцениваемая или измеряемая) допускает немедленный запуск в случае необходимости. Компрессоры с постоянной скоростью могут быть очень энергоэффективными при условии минимизации периодов холостого хода.

- **в компрессорах с регулируемой скоростью** рабочая скорость может плавно меняться в диапазоне между минимальной и максимальной допустимой скоростью. Как правило, соотношение максимальной и минимальной скоростей составляет 4:1–5:1; при этом производительность объемных компрессоров (например, винтовых) примерно пропорциональна их рабочей скорости. В силу неизбежных потерь в преобразователе частоты и потерь в асинхронном двигателе, связанных с изменением частоты, собственный КПД привода с переменной скоростью всегда оказывается ниже, чем КПД привода с постоянной скоростью (на 3–4% ниже при полной нагрузке и даже на большую величину при частичной нагрузке). Кроме того, КПД объемных компрессоров (например, сухих компрессоров со впрыскиванием масла или сухих винтовых компрессоров) при низких рабочих скоростях значительно ниже, чем при номинальной производительности.

В системах с одним компрессором эти негативные эффекты могут быть скомпенсированы за счет оптимального режима регулирования скорости и устранения потерь, связанных с работой на холостом ходу, остановкой и запуском, которые имели бы место при работе в той же системе компрессора с постоянной скоростью. Вследствие ограниченного диапазона рабочих скоростей (см. выше), даже при работе компрессоров с регулируемой скоростью могут иметь место некоторые потери, связанные с работой на холостом ходу, остановкой и запуском.

- *системы с несколькими компрессорами.* Применительно к системе с несколькими компрессорами приведенные выше рассуждения были бы чрезмерным упрощением, поскольку в таких системах центральное управляющее устройство обеспечивает удовлетворение меняющихся потребностей посредством сложного сочетания режимов работы различных компрессоров и переключения между этими режимами. Стратегии управления такой системой включают также регулирование скорости компрессоров с переменной скоростью, если таковые имеются в системе, с целью минимизации периода работы на холостом ходу и частоты переключения компрессоров с постоянной скоростью.

Добавление компрессора с регулируемой скоростью к системе с несколькими компрессорами может быть крайне полезным в условиях, когда система сжатого воздуха характеризуется относительно небольшой вместимостью резервуаров для хранения воздуха, сильно и/или быстро меняющимся потреблением, малым количеством компрессоров и/или недостаточным разнообразием мощности компрессоров. С другой стороны, система с достаточным

разнообразием мощности компрессоров позволяет обеспечить точное соответствие объемов производства и потребления сжатого воздуха при минимальной работе на холостом ходу и частоте переключения посредством выбора оптимальной конфигурации работающих компрессоров.

Как правило, различные компрессоры в системе с центральным управляющим устройством работают в общем диапазоне давлений; при этом критерием управления является поддержание требуемого минимума давления в определенной точке измерения. Эта схема является значительно более эффективной, чем каскадные схемы. При этом современные системы управления способны обеспечить сужение диапазона давлений без увеличения времени холостого хода или частоты переключения компрессоров. Сужение диапазона давлений позволяет снизить величину противодавления и, как следствие, удельное энергопотребление работающих компрессоров, а также избыточный расход воздуха на уровне потребителей.

Применимость

По данным исследования в рамках проекта SAVE, оснащение существующих систем сжатого воздуха современными системами управления является реализуемым и экономически эффективным мероприятием для 20 % существующих систем. В условиях предприятий КПКЗ, где системы сжатого воздуха, как правило, характеризуются значительной мощностью, использование сложных систем управления должно рассматриваться как отвечающее современному уровню развития технологий.

Наибольшие объемы энергосбережения могут быть достигнуты в том случае, когда установка современной системы управления планируется на этапе проектирования системы сжатого воздуха наряду с выбором компрессоров или в процессе модернизации системы, предусматривающей замену основного оборудования (в т.ч. компрессоров). В этом случае следует уделить внимание выбору центрального управляющего устройства и контроллеров отдельных компрессоров, обладающих современными, развитыми и взаимно совместимыми коммуникационными функциями.

Вследствие длительного срока службы систем сжатого воздуха этот оптимальный сценарий не всегда является реалистичным, но оснащение существующей системы центральным управляющим устройством, и даже – в отсутствие более прогрессивной альтернативы – подключение к нему старых компрессоров с использованием реле с плавающим контактом может обеспечить значительное энергосбережение.

Экономические аспекты

Экономическая эффективность оснащения вновь проектируемой системы сжатого воздуха централизованной системой управления зависит от ряда факторов, включая временной график потребления, тип компрессоров, протяженность кабелей и т.д. Согласно оценкам, средний объем энергосбережения в результате использования такой системы составляет 12 %. В случае добавления централизованной системы управления к действующей системе существуют дополнительные факторы неопределенности, например, проблемы, связанные с интеграцией устаревшего оборудования. Однако и в этом случае период окупаемости инвестиций часто оказывается меньше года.

Мотивы внедрения

Основным мотивом является снижение затрат, связанных с энергопотреблением, однако заслуживает упоминания и ряд других положительных эффектов. Внедрение как на уровне отдельных компрессоров, так и на уровне системы в целом современных интеллектуальных устройств управления, обладающих развитыми коммуникационными функциями, позволяет эффективно организовывать плановое ТО и ТО по техническому состоянию, дистанционное ТО, удаленный мониторинг оборудования, систематический сбор данных о характеристиках производственного процесса, оперативное отслеживание затрат на производство сжатого воздуха и другие подобные виды деятельности. Все это может способствовать снижению затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание системы, повышению коэффициента эксплуатационной готовности, а также лучшей осведомленности о затратах на производство сжатого воздуха.

Установка компьютеризованной системы управления компрессорами на предприятии компании Ford Motor Company (ранее принадлежавшем компании Land Rover) в г. Солихалл (Великобритания) позволила сократить затраты на производство сжатого воздуха 18,5%. Система была установлена и введена в эксплуатацию без приостановки производственного процесса, при этом период окупаемости общих затрат на ее внедрение составил 16 месяцев. Предполагается, что этот опыт может быть воспроизведен в условиях большинства систем сжатого воздуха, использующих три или более компрессора. Этот подход предоставляет операторам крупных систем сжатого воздуха простую и надежную возможность для снижения затрат на электроэнергию, как следует из приводимых ниже данных:

- потенциальная область применения: любой компрессорный цех (участок) с тремя или более компрессорами;
- объем инвестиций: общие затраты на внедрение системы составили 44900 евро, из которых 28300 евро пришлось на капитальные затраты (цены 1991 г.);
- достигнутая экономия: 600 тыс. кВт·ч (2100 ГДж/год, что соответствует 34 тыс. евро/год (в ценах 1991 г.);
- период окупаемости: 1,3 г. (на основе только прямого экономического эффекта от внедрения системы); 8 мес. (с учетом достигнутого попутно сокращения утечек).

(при расчетах использовался курс 1 британский фунт = 1,415 евро)

К настоящему времени объем инвестиций, необходимых для внедрения подобной системы, значительно сократился. Так, требуемые капитальные затраты снизились с 28300 до 5060 евро к 1998 г., что привело к уменьшению периода окупаемости до величины менее трех месяцев, несмотря на снижение стоимости потребляемой заводом электроэнергии.

Справочная информация

[113, Best practice programme, 1996]

3.7.5. Утилизация тепла

Общая характеристика

Большая часть электроэнергии, потребляемой промышленным компрессором, в конечном счете, преобразуется в тепловую энергию и должна быть отведена в окружающую среду. Во многих случаях при помощи адекватных мер можно обеспечить утилизацию значительной части этого тепла и его полезное применение, например, для нагрева воздуха или воды при наличии соответствующей потребности

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует.

Производственная информация

Возможны две различные системы утилизации тепла:

- подогрев воздуха: компрессорные агрегаты с воздушным охлаждением пригодны для утилизации тепла в целях отопления помещений, промышленной сушки, предварительного подогрева воздуха для горелок и любых других применений, в которых существует потребность в подогретом воздухе. В таких агрегатах атмосферный воздух проходит через систему охлаждения компрессора, отбирая тепло, образующееся при сжатии воздуха.

Поскольку компрессорные агрегаты, как правило, установлены в кожухе и уже оснащены теплообменниками и вентиляторами, обеспечивающими работу системы охлаждения, единственной необходимой модификацией является добавление воздуховода и дополнительного вентилятора для обеспечения потока воздуха и исключения любого противодавления на

вентиляторы системы охлаждения. Работа таких систем утилизации тепла может регулироваться при помощи простого вентиля с термостатическим управлением.

При использовании компрессоров с водяным охлаждением утилизация тепла для отопления помещений является менее эффективной вследствие необходимости дополнительной ступени теплообмена и того факта, что температура доступного тепла, как правило, оказывается ниже. Однако, поскольку многие компрессоры с водяным охлаждением характеризуются значительной мощностью, утилизация тепла в целях отопления может оказаться привлекательным вариантом.

- подогрев воды: возможным вариантом является также установка теплообменника для утилизации тепла, отводимого при охлаждении компрессорного масла в компрессорах с воздушным и водяным охлаждением, посредством производства горячей воды. В зависимости от конструкции теплообменника может производиться горячая вода для хозяйственных или других нужд. Когда потребность в горячей воде отсутствует, горячее масло направляется в обычную систему охлаждения.

Горячая вода может использоваться в системах центрального отопления, душевых и прачечных, в промышленных процессах очистки, тепловых насосах, для промывки изделий после нанесения гальванических (электрохимических) покрытий и для любых других применений, требующих нагретой воды.

Применимость

Производители большинства современных компрессорных систем предлагают системы утилизации тепла в качестве дополнительного оборудования, поставляемого по желанию заказчика. Это оборудование может быть интегрировано в основной компрессорный агрегат или устанавливаться отдельно. Оборудование системами утилизации тепла существующих систем сжатого воздуха, как правило, не сопряжено со значительными трудностями или затратами. Системы утилизации тепла доступны для компрессоров как с воздушным, так и водяным охлаждением.

Экономические аспекты

В конечном счете, в тепловую энергию преобразуется 80–95% электроэнергии, потребляемой промышленным компрессором. Во многих случаях грамотно спроектированная система способна обеспечить утилизацию от 50 до 90% этого тепла для производства горячего воздуха или воды.

Потенциальные объемы энергосбережения зависят от характеристик конкретной системы сжатого воздуха, эксплуатационных условий и применения утилизируемого тепла.

Как правило, характеристики тепла, утилизируемого при работе компрессоров, недостаточны для непосредственного производства пара на его основе.

Характерные температуры получаемого при этом нагретого воздуха на 25–40 °C превышают температуру охлаждающего воздуха, поступающего в систему, тогда как температура нагретой воды может находиться в диапазоне от 50 до 75 °C.

Пример объемов энергосбережения и экономического эффекта для винтового компрессора с впрыскиванием масла приведен в Табл. 3.25:

Номинальная мощность компрессора	Утилизируемое тепло (около 80% номинальной мощности)	Экономия мазута (при времени работы 4000 час/год)	Экономический эффект (при цене мазута 0,50 евро/л)
кВт	кВт	л/год	евро/год
90	72	36330	18165

Таблица 3.25: Пример экономического эффекта в результате утилизации тепла

[168, PNEUROP, 2007]

$$Экономический\ эффект\ (евро/год) = \frac{ном.\ мощн.\ компр\ (кВт) \cdot 0{,}8 \cdot время\ работы\ (час/год) \cdot стоимость\ мазута\ (евро/л)}{ВТС\ мазута\ (кВт \cdot ч/л) \cdot КПД\ пр-ва\ тепла\ при\ сжигании\ мазута}$$

Уравнение 3.12

где:

- ВТС мазута – 10,57 кВт·ч/л;
- КПД производства тепла при сжигании мазута – 75%.

Мотивы внедрения

Снижение затрат.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[121, Caddet Energy Efficiency, 1999, 168, PNEUROP, 2007]

3.7.6. Сокращение утечек в системах сжатого воздуха

Общая характеристика

С сокращением утечек в системах сжатого воздуха связан потенциал энергосбережения, значительно превосходящий все остальные резервы. Объем утечек прямо пропорционален рабочему давлению системы. Утечки имеют место в любой системе сжатого воздуха и происходят постоянно, а не только во время работы системы.

В крупных, хорошо обслуживаемых системах непроизводительные затраты мощности компрессора, связанные с утечками, не должны превышать 10%. Соответствующее значение для небольших систем не должно превышать 5%. В «исторически сложившихся» плохо обслуживаемых системах непроизводительные затраты мощности могут достигать 25 %.

Поэтому программы профилактического ТО для систем сжатого воздуха должны включать меры по предотвращению утечек сжатого воздуха и периодическую оценку объема утечек. После обнаружения и устранения утечек необходимо провести повторную оценку. Для оценки объема утечек могут использоваться следующие методы:

- оценка объема утечек: все методы определения объема утечек предполагают отключение от системы всех потребителей для того, чтобы во время измерений расход воздуха в системе был обусловлен исключительно утечками:
- в том случае, когда система оборудована счетчиком расхода воздуха, объем утечек может быть измерен непосредственно;
- в системе сжатого воздуха, где компрессор управляется посредством запуска/останова (т.е., работает в повторно-кратковременном режиме), возможно оценить объем утечек на основании отношения времени работы компрессора к общей продолжительности периода измерения. Для обеспечения репрезентативности результата период измерения должен включать, как минимум, пять запусков компрессора. Объем утечек, выраженный как доля общей мощности компрессора, рассчитывается следующим образом:
- Утечки (%) = 100 х время работы/общее время измерений
- объем утечек в системе, работа которой регулируется на основе какого-либо другого принципа, может быть оценен при наличии запорного клапана между компрессором и системой. Для оценки утечек этим способом необходимо хотя бы приблизительное представление об объеме системы после компрессора, а также наличие манометра после клапана;

- в этом случае давление в системе доводится до величины рабочего давления (P1), после чего компрессор останавливается и клапан перекрывается, а затем чего измеряется время (t), необходимое для снижения давления с уровня P1 до величины P2. Последняя должна составлять примерно 50% от величины рабочего давления системы (P1). После этого объем утечки может быть оценен при помощи следующей формулы:
    - Утечки ($м^3$/мин) = объем системы ($м^3$) · (P1 (бар) – P2 (бар)) · 1.25/t (мин)
    - Поправочный коэффициент 1,25 введен для учета сокращения объема утечек при снижении давления в системе.
    - После этого объем утечек, выраженный как доля общей мощности компрессора, может быть рассчитан следующим образом:

Утечки (%) = 100 · утечки ($м^3$/мин)/потребление воздуха компрессором ($м^3$/мин)

- иногда для устранения утечек достаточно затянуть соединения, но может потребоваться и замена неисправного оборудования, например, муфт, фитингов, участков трубопровода, рукавов, компенсаторов, дренажных трубопроводов и конденсатоотводчиков. Во многих случаях утечки вызваны некачественным уплотнением резьбовых соединений. Оборудование или целые части системы, не используемые в настоящее время, должны быть изолированы от действующей системы сжатого воздуха.

Еще одним возможным способом сокращения утечек является снижение рабочего давления системы. Поскольку объем потерь зависит от перепада давления в местах утечек, это приводит к сокращению расхода сжатого воздуха.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Приводя к потерям энергии, утечки одновременно могут быть источником и других производственных потерь. Утечки вызывают снижение давления сжатого воздуха в системе, что может снизить производительность устройств с пневмоприводом и, как следствие, всего технологического процесса. Кроме того, приводя к учащению циклов запуска/останова, утечки взывают ускоренный износ практически всего оборудования системы (включая сам компрессорный агрегат). Увеличение времени работы оборудования может также приводить к повышенным требованиям к техническому обслуживанию последнего, а также к увеличению общей продолжительности нештатных остановок. Наконец, результатом утечек воздуха может быть необоснованное увеличение мощности компрессора.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Утечки являются существенным источником потерь энергии в промышленных системах сжатого воздуха – иногда на них приходится 20–30% мощности компрессора. На предприятии, где не осуществляется адекватного технического обслуживания системы сжатого воздуха, объем утечек может достигать 20% общего производства сжатого воздуха.

С другой стороны, профилактическая работа по выявлению и устранению утечек даже в условиях крупной системы сжатого воздуха может снизить объем утечек до уровня менее 10% общей производительности системы.

Существует ряд методов обнаружения конкретных мест утечек:

- на слух (в случае крупных утечек);
- с помощью мыльного раствора, наносимого при помощи кисти на место предполагаемой утечки;
- с помощью ультразвукового детектора;
- с помощью специальных газов, например, водорода или гелия, и соответствующих детекторов.

Хотя утечки могут иметь в любых местах системы, наиболее часто они связаны со следующими элементами:

- муфты, рукава и фитинги;
- регуляторы давления;
- действующие конденсатоотводчики и изолирующие клапаны;
- соединения и уплотнения резьбовых соединений;
- устройства с пневмоприводом, потребляющие сжатый воздух.

Применимость

В целом применимо к любым системам сжатого воздуха (см. табл. 3.23).

Экономические аспекты

Затраты на выявление и устранение утечек зависят от особенностей конкретной системы сжатого воздуха и квалификации обслуживающего персонала. Типичная величина экономии для системы средней мощности (50 кВт) составляет:

50 кВт · 3000 час/год · 0,08 евро/кВт·ч · 20% = 2400 евро/год

При этом характерный объем затрат на регулярное выявление и устранение утечек составляет 1000 евро/год.

Поскольку устранение утечек широко применимо (80%) и обеспечивает наибольшие объемы энергосбережения (20%), оно представляет собой наиболее важное направление сокращения энергопотребления систем сжатого воздуха.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

По состоянию на 1994 г., предприятие Van Leer Ltd (Великобритания) использовало 179 кВт·ч для производства 1000 $м^3$ сжатого воздуха, а затраты составляли 7,53 евро/1000 $м^3$. Мероприятия по сокращению утечек привели к сокращению годового энергопотребления на 189200 кВт·ч и связанному с этим снижению затрат на 7641 евро/год или на четверть всех затрат на производство сжатого воздуха. При этом затраты на обследование системы составили 2235 евро, а на устранение выявленных утечек (включая стоимость деталей, использованных для замены, и оплату труда) – 2874 евро. Таким образом, при размере экономии 7641 евро/год срок окупаемости программы по сокращению утечек составил 9 месяцев (использовался обменный курс на 1 января 1994 г., 1 британский фунт = 1,314 евро).

Справочная информация

[168, PNEUROP, 2007]

3.7.7. Техническое обслуживание фильтров

Общая характеристика

Потери давления в системе сжатого воздуха могут быть связаны с недостаточным уровнем технического обслуживания фильтров – неадекватной чисткой фильтров или недостаточно частой заменой сменных фильтров.

Экологические преимущества

- энергосбережение;
- сокращение выбросов масляных паров и/или аэрозолей.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Увеличение расхода фильтров и соответствующее увеличение объемов образования отходов.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Любые системы сжатого воздуха.

Экономические аспекты

См. табл. 3.23.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

3.7.8. Использование холодного наружного воздуха для питания компрессоров

Общая характеристика

Во многих случаях главная компрессорная установка размещается рядом с основными потребителями сжатого воздуха с целью снижения потерь при транспортировке сжатого воздуха по трубопроводам. Как следствие, компрессорные установки часто находятся в подземных или внутренних помещениях производственных объектов. При этом, как правило, приток свежего наружного воздуха к компрессорам ограничен, и для их питания используется воздух помещений, температура которого обычно превышает температуру наружного воздуха. Согласно законам термодинамики, сжатие теплого воздуха требует больших затрат энергии, чем холодного. В технической литературе отмечается, что каждые 5°C повышения температуры на входе компрессора требуют увеличения потребляемой мощности примерно на 2%. Поэтому снижение энергопотребления может быть достигнуто посредством простой организации питания компрессора наружным воздухом, особенно в зимний период, когда во многих районах разница между температурой наружного воздуха и температурой в помещениях может превышать 5°C в несколько раз. Подведение наружного воздуха к компрессору или компрессорной в целом может быть организовано при помощи воздуховода. В зависимости от длины последнего, может потребоваться установка дополнительного вентилятора, энергопотребление которого должно быть учтено при планировании данного мероприятия. Воздухозабор должен находиться на северной стороне объекта или, по крайней мере, в месте, которое большую часть времени находится в тени.

Экологические преимущества

Сокращение потребления первичных энергоресурсов. Как правило, компрессоры приводятся в действие электродвигателями.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

Поскольку при работе компрессора образуется значительное количество тепла, в компрессорных всегда наблюдается повышенная температура независимо от того, организована ли утилизация этого тепла. Нередко температура воздуха в компрессорных даже в зимний период достигает 30–35°C. Чем больше разница между температурой в помещении и температурой наружного воздуха, тем больше потенциал энергосбережения. При этом следует иметь в виду, что объемы энергосбережения пропорциональны времени работы компрессора.

Применимость

Снижение температуры воздуха, поступающего в компрессор, за счет холодного наружного воздуха возможно практически в любых условиях. Иногда достаточно проделать в наружной стене круглое отверстие, соединив его с компрессором при помощи воздуховода. Если расположение компрессорной делает подачу наружного воздуха затруднительной, следует улучшить ее вентиляцию. Согласно оценкам, подобные меры применимы в 50% случаев.

Экономические аспекты

Организация подачи холодного наружного воздуха не влечет за собой значительных затрат, поскольку атмосферный воздух является бесплатным, и связана с такими экономическими преимуществами, как сокращение времени работы компрессоров или потребляемой ими электрической мощности.

В табл. 3.26 приведена оценка возможного экономического эффекта мероприятия подобного рода. Данные взяты из материалов обследования реального производства.

	Описание	**Значение**	**Ед. изм.**	**Формула**	**Комментарии**
A	Установленная мощность компрессора	135	kW	–	
B	Время работы при полной нагрузке	2000	час/год	–	
C	Энергопотребление	270000	кВт·ч	A·B	
D	Снижение температуры потребляемого воздуха	5	°C	–	Оценка
E	Сокращение энергопотребления	2,00	%	–	Из тех. литературы
F	Ежегодное энергосбережение	5400	кВт·ч	C·E	
G	Стоимость электроэнергии	0,1328	евро/кВт·ч	–	Средние данные
H	Ежегодное снижение затрат	717	евро/год	F·G	
I	Объем инвестиций	5000	евро	–	Оценка для воздуховода и вентилятора
L	Внутренняя норма рентабельности (до налогообложения)	6,7	%	–	По данным анализа затрат и выгод (*)
M	Чистый приведенный доход	536	евро	–	По данным анализа затрат и выгод (*)
N	Период окупаемости	7,0	лет	–	По данным анализа затрат и выгод (*)
(*) Для срока службы 10 лет и процентной ставки 5 %					

Таблица 3.26: Экономический эффект в результате организации питания компрессора холодным наружным воздухом

Мотивы внедрения

- простота установки;
- энергосбережение и сокращение затрат.

Примеры

Предприятие по производству полупроводников в Италии.

Справочная информация

[229, Di Franco, , 231, The motor challenge programme, , 233, Petrecca, 1992]

3.7.9. Оптимизация давления системы

Общая характеристика

Чем ниже рабочее давление системы, тем более эффективным с экономической точки зрения является производство сжатого воздуха. Однако система должна обеспечивать всех потребителей воздухом достаточного давления в любое время, когда это необходимо. Снижение пикового давления может быть достигнуто посредством совершенствования системы управления. В принципе, существует несколько способов «сузить» диапазон давлений системы и, как следствие, уменьшить давление производимого сжатого воздуха. Эти варианты описаны ниже и представлены на рис. 3.35:

- непосредственное регулирование при помощи механических переключателей самого компрессора представляет собой простейший способ установки рабочего диапазона давлений. Поскольку со временем величина давления, установленная таким образом, может самопроизвольно сбиваться, регулировка системы должна периодически повторяться;
- интеллектуальная система управления, основанная на использовании привода переменной скорости (с преобразователем частоты) или запуска компрессора оптимальной мощности (в системах из нескольких компрессоров). При этом давление регулируется посредством использования компрессора с приводом переменной скорости в качестве компрессора пиковой нагрузки, мощность которого определятся, исходя из текущих потребностей системы, или при помощи централизованной системы управления, обеспечивающей запуск компрессора (или группы компрессоров) оптимальной мощности;
- сокращение диапазона давлений до допустимого предела (оптимизированная интеллектуальная система управления). Такая система позволяет снизить верхний уровень диапазона давлений до величины, лишь незначительно превышающей минимально допустимый уровень давления. Результаты применения различных подходов представлены на рис. 3.34.

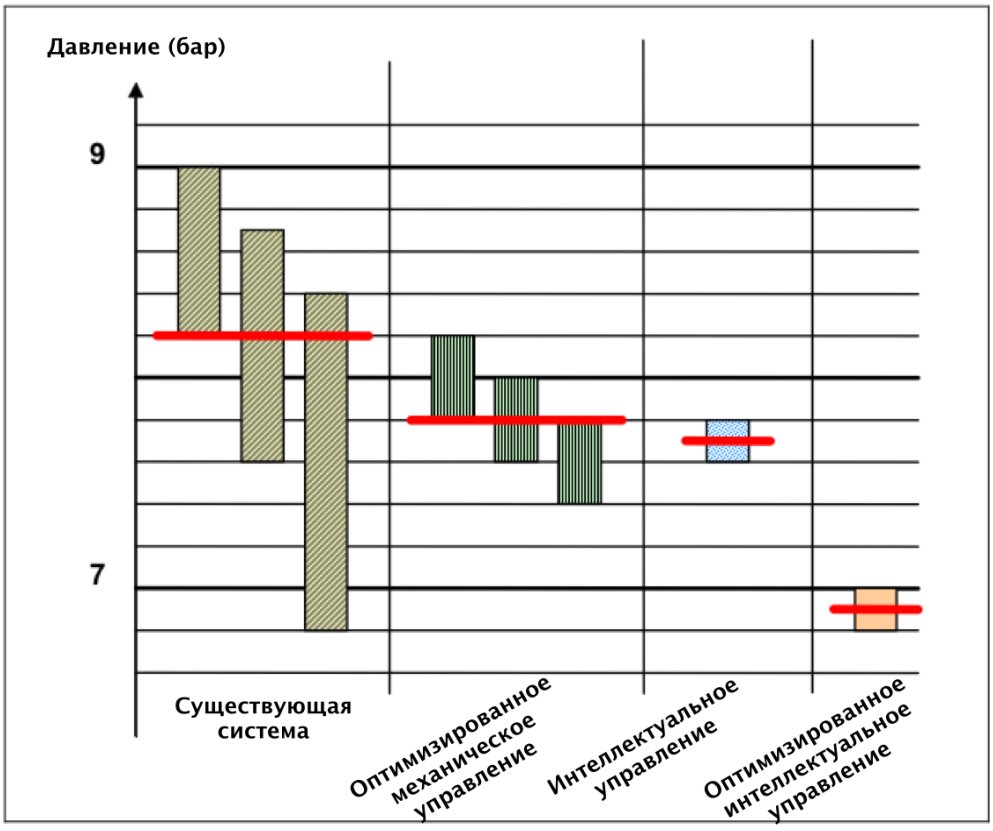


Рисунок 3.34: Различные подходы к управлению работой компрессора

[28, Berger, 2005]

Содержание рис. 3.34 описано ниже:

- горизонтальные жирные линии представляют среднее давление сжатого воздуха для соответствующих подходов к регулированию;
- в ситуации, представленной столбиками с диагональной штриховкой, среднее давление сжатого воздуха равно 8,2 бар;
- столбики с вертикальной штриховкой показывают, что при помощи механических переключателей может быть установлен только диапазон давлений (разница между верхним и нижним уровнями) 0,4 бар вследствие существующих пределов допуска. При этом среднее давление сжатого воздуха составляет 7,8 бар. Предполагается, что уровень, при котором включается первый компрессор пиковой нагрузки, остается неизменным и составляет 7,6 бар;
- интеллектуальная система управления (второй столбик справа) способна снизить диапазон рабочих давлений для всей группы компрессоров в целом до величины 0,2 бар. Такая система способна более оперативно реагировать на изменения давления. В предположении, что заданный нижний предел давления является тем уровнем, при котором запускается первый пиковый компрессор, средняя величина давления для такой системы составляет 7,7 бар.

Величина 7,7 бар все еще выше по сравнению с давлением других сопоставимых компрессорных станций. Поскольку величина давления, при которой включается второй пиковый компрессор составляет 6,8 бар, эта величина является нижним уровнем давления сжатого воздуха. Средняя величина давления при этом составляет 6,9 бар.

Экологические преимущества

На практике было продемонстрировано, что снижение давления на 1 бар приводит к сокращению энергопотребления на 6-8%. Кроме того, снижение давления приводит и к сокращению утечек.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Как правило, управление компрессорами при помощи приводов с переменной скоростью (в интеллектуальных или оптимизированных интеллектуальных системах управления) является экономически эффективным лишь в случае установки нового оборудования, поскольку производители не рекомендуют оснащать преобразователями частоты уже установленное оборудование.

Экономические аспекты

Использование оптимизированной интеллектуальной системы управления позволяет снизить среднее рабочее давление системы с 8,2 до 6,9 бар, что соответствует сокращению энергопотребления на 9,1 %. Оптимизация системы управления, будучи сопряжена с относительно небольшими затратами, позволяет обеспечить энергосбережение в объеме нескольких сот МВт·ч/год, что соответствует экономии десятков тысяч евро в год (например, при установленной мощности компрессора 500 кВт и времени работы 8700 час/год может быть достигнуто энергосбережение в объеме около 400 МВт·ч/год и экономический эффект в размере около 20 тыс. евро/год).

Мотивы внедрения

Сокращение затрат.

Примеры

Установка автоматизированной системы управления компрессорами на предприятии Land Rover (Великобритания) позволила снизить общие затраты на производство сжатого воздуха на 18,5%.

Период окупаемости затрат на внедрение системы составил 16 месяцев. Энергопотребление было снижено еще на 20% за счет устранения утечек сжатого воздуха.

Справочная информация

[227, TWG, 244, Best practice programme]

3.7.10. Создание запаса сжатого воздуха вблизи потребителей с существенно варьирующим уровнем потребления

Общая характеристика

Вблизи потребителей сжатого воздуха с существенно варьирующим уровнем потребления могут быть размещены резервуары для создания запаса сжатого воздуха.

Экологические преимущества

Описанный подход позволяет сглаживать пики потребности в сжатом воздухе, делая возможным использование компрессоров меньшей мощности. Обеспечивая более равномерную загрузку системы, данный метод создает предпосылки для эксплуатации компрессоров в оптимальных режимах.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

- метод заслуживает рассмотрения во всех случаях, когда имеются потребители сжатого воздуха, характеризующиеся значительными колебаниями уровня потребления;
- широко применяется.

Экономические аспекты

Снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

Данных не предоставлено.

3.8. Насосные системы

Введение

На насосные системы приходится около 20% мирового потребления электроэнергии; доля насосных систем в общем энергопотреблении некоторых промышленных производств составляет 25–50%. Насосные системы широко применяются в различных секторах:

- промышленность, например:
  - пищевая;
  - химическая;
  - нефтехимическая;
  - фармацевтическая;
- коммерческий сектор и сельское хозяйство;
- муниципальные системы водоснабжения и канализации;
- хозяйственно-бытовое применение.

По принципу действия насосы подразделяются на две основные группы: *динамические* и *объемные*. Большинство насосов, применяемых в промышленности, используют электропривод, однако крупные насосы могут приводиться в действие и паровыми турбинами (а также специализированными двигателями внутреннего сгорания).

Центральным элементом *динамического* насоса (наиболее распространенной разновидностью этой группы является центробежный насос) является рабочее колесо с лопатками, вращение которого придает жидкости тангенциальное ускорение, приводя к увеличению ее кинетической энергии. Конструкция насоса обеспечивает преобразование кинетической энергии жидкости в гидравлическую энергию и создание напора. Есть основания полагать, что центробежный насос является одним из наиболее распространенных устройств в мире; в любом случае, на этот тип насоса приходится значительная доля мирового потребления энергии.

Принцип действия *объемного* насоса основан на периодическом заключении определенного количества жидкости в замкнутый объем с последующим вытеснением этой жидкости в нагнетательный отвод под действием какой-либо силы. Объемные насосы далее подразделяются на следующие разновидности:

- *ротационные* насосы (например, лопастной или шиберный насос). Шиберные насосы широко используются как в качестве гидравлических насосов высокого давления, так и в качестве вакуумных насосов, в частности, для обеспечения вакуума в контуре хладагента в кондиционерах;
- *возвратно-поступательные* насосы (например, мембранный насос). Мембранные насосы отличаются хорошей высотой всасывания; некоторые из них используются в качестве насосов низкого давления с низким расходом. Они нормально функционируют в условиях сухого хода и характеризуются низким усилием сдвига (т.е., не вызывают разрушения взвешенных твердых частиц). Мембранные насосы способны перекачивать жидкости с высоким содержанием твердого вещества, в т.ч. шламы и илы. Мембранные насосы с тефлоновой мембраной, шаровыми распределительными клапанами и гидравлическими исполнительными устройствами используются для подачи точно отмеренных количеств реагентов в технологические аппараты или реакторы при высоких давлениях (до 350 бар). Мембранные насосы могут использоваться для подачи воздуха, незагрязненного масляными парами, в химической и пищевой промышленности, а также в медицине.

Потребление энергии и материалов насосной системой зависит от конструкции насосов и производственного объекта в целом, а также способа эксплуатации системы. Как правило, наиболее дешевым вариантом является использование центробежного насоса. Насосы могут быть одноступенчатыми или многоступенчатыми – в последнем случае достигается больший напор. В критических применениях насосы часто дублируются посредством установки резервных насосов.

3.8.1. Инвентаризация и оценка насосных систем

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Мотивам внедрения», «Примерам», а также «Справочной информации» для методов повышения энергоэффективности насосных систем приведена в разделе 3.8.7).

Первым шагом на пути к выявлению реалистичных мер по повышению энергоэффективности насосной системы и ее оптимизации является инвентаризация насосной системы предприятия с выявлением основных эксплуатационных характеристик последней. Инвентаризация может осуществляться в два этапа (см. Раздел 2.15.1 и Приложение 7.7.3):

- составление общего описания системы на основе записей приглашенных консультантов или несложных измерений. Это описание должно включать следующие данные:
    - перечень, например, 50 наиболее крупных насосов (с точки зрения номинальной мощности): размер и тип;
    - назначение каждого насоса;
    - энергопотребление каждого из перечисленных насосов;

- характер потребности в работе насосов: возможные вариации в течение дня/недели;
- тип системы управления;
- время работы (ч/год) и, как следствие, годовое энергопотребление;
- проблемы или процедуры технического обслуживания, специфичные для конкретных насосов.

Во многих организациях вся эта информация или значительная ее часть может быть получена силами собственного персонала.

- детальное документирование и измерение эксплуатационных параметров насосной системы: этот этап является желательным для любых насосных систем и необходимым для крупных систем (мощностью более 100 кВт). Для успешного сбора таких данных инженерно-технический персонал предприятия или приглашенные консультанты должны обладать высокой квалификацией.

Вследствие большого разнообразия насосных систем невозможно привести исчерпывающий список конкретных вопросов, которые должны быть рассмотрены в ходе детальной оценки. Однако ряд факторов, от которых может зависеть энергоэффективность насосной системы, обсуждается в разделах 3.8.2–3.8.6.

3.8.2. Выбор насоса

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Мотивам внедрения», «Примерам», а также «Справочной информации» для методов повышения энергоэффективности насосных систем приведена в разделе 3.8.7).

Насос является центральным элементом насосной системы. Выбор насоса диктуется потребностями технологического процесса, важнейшими из которых являются требования к таким параметрам, как напор и расход (подача). Выбор насоса зависит от конструкции системы в целом, перекачиваемой жидкости, характеристик атмосферы и т.д.

Для получения энергоэффективной насосной системы выбор насоса должен быть произведен таким образом, чтобы рабочая точка находилась как можно ближе к величине расхода, при которой достигается наивысший КПД, как показано на рис. 3.35.

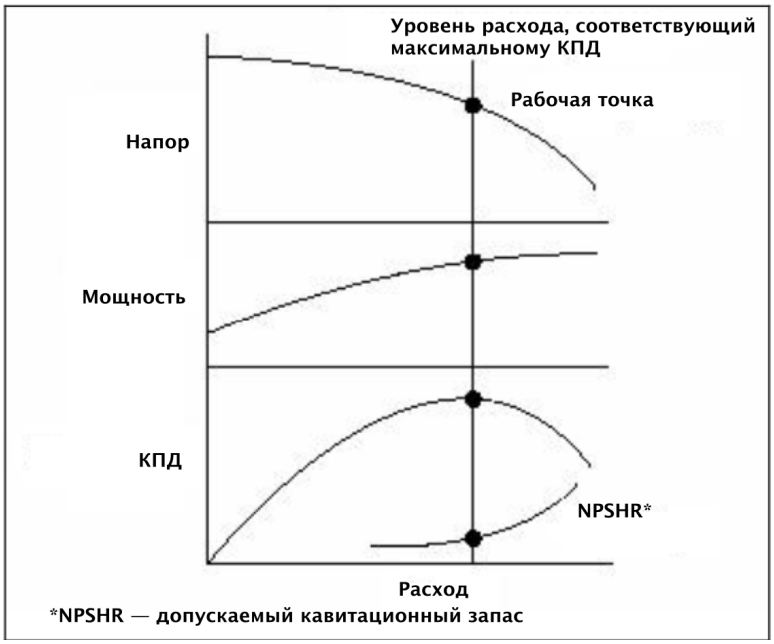


Рис. 3.35: Зависимость напора, мощности и КПД от расхода и точка максимального КПД [199, TWG]

На рис. 3.36 показаны возможные диапазоны общего напора в зависимости от производительности насоса для заданной частоты вращения и различных типов насосов.

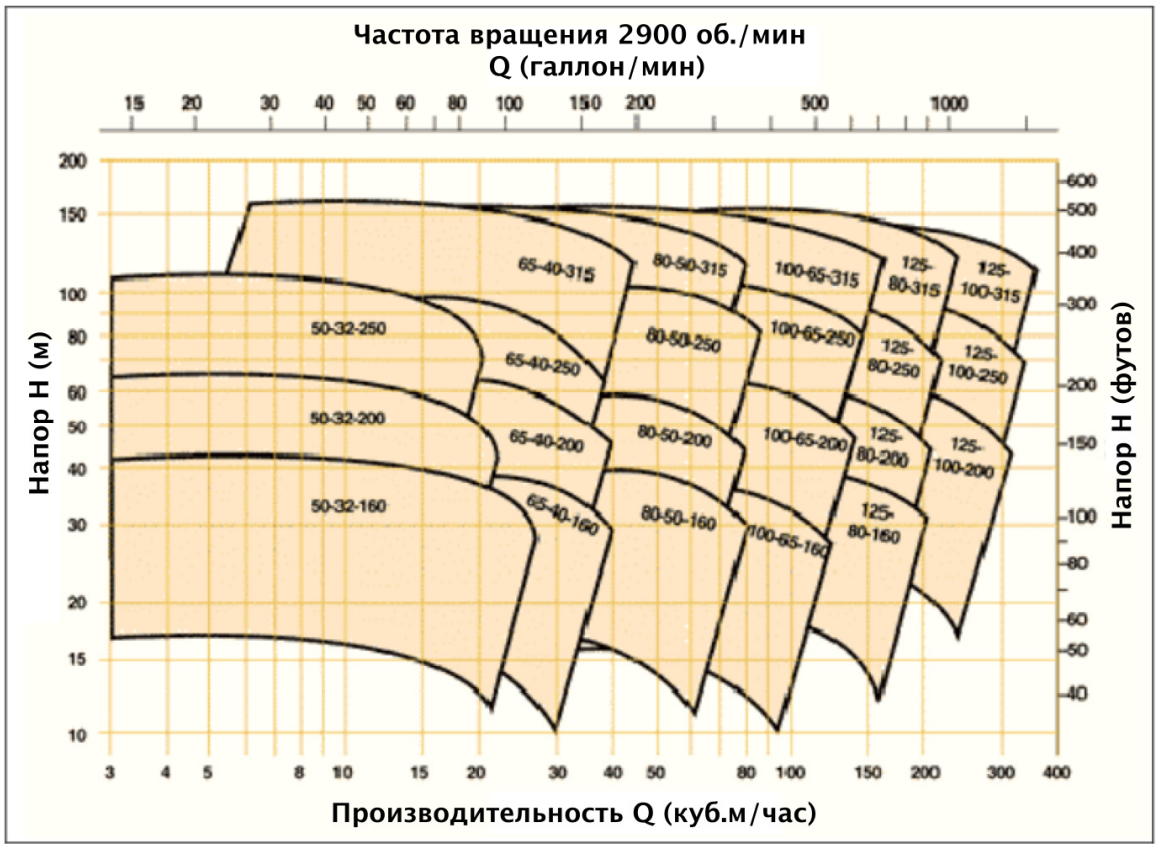


Рисунок 3.36: Зависимость напора от производительности насоса

[199, TWG]

Согласно оценкам, 75% существующих насосных систем характеризуется чрезмерной мощностью, причем у многих систем избыток мощности превышает 20%. Избыточная мощность насосов представляет собой наиболее значительный фактор непроизводительных затрат энергии в насосных системах.

Выбор насоса с избыточной мощностью не является ни экономически эффективным, ни энергоэффективным вариантом, поскольку:

- это приводит к повышенным капитальным затратам;
- это также приводит к повышению эксплуатационных затрат (в части затрат на энергию), поскольку расход перекачиваемой жидкости и/или ее давление превышают существующие потребности предприятия. Энергия теряется за счет чрезмерного дросселирования, перепуска значительных потоков или функционирования насосов, необходимость в работе которых отсутствует.

В случае выявления насосов с избыточной мощностью целесообразно рассмотреть возможность их замены наряду с другими методами уменьшения мощности, которые могут включать замену или подрезку рабочего колеса и/или регулирование скорости привода. Уменьшение размера рабочего колеса является наименее затратным методом снижения чрезмерной мощности насоса. Обработка (подрезка) или замена рабочего колеса в пределах, допускаемых производителем для данного размера корпуса насоса, позволяет снизить напор на 10–50%.

Энергопотребление системы в целом может быть снижено за счет установки повысительного (бустерного) насоса для обеспечения повышенным напором отдельного потребителя, в то время как остальная система может функционировать при меньшем давлении и, как следствие, с меньшим энергопотреблением.

Европейские рекомендации по закупкам водяных насосов предлагают простую методику выбора насоса, обладающего высоким КПД в заданной рабочей точке. Описание методики доступно через Интернет по адресу:

http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/EU_pumpguide_final.pdf

3.8.3. Оптимизация трубопроводной системы

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Мотивам внедрения», «Примерам», а также «Справочной информации» для методов повышения энергоэффективности насосных систем приведена в разделе 3.8.7).

Выбор производительности насоса зависит от характеристик трубопроводной системы. Как показано на рис. 3.37, оптимальная производительность определяется соотношением характеристик насоса и трубопроводной системы.

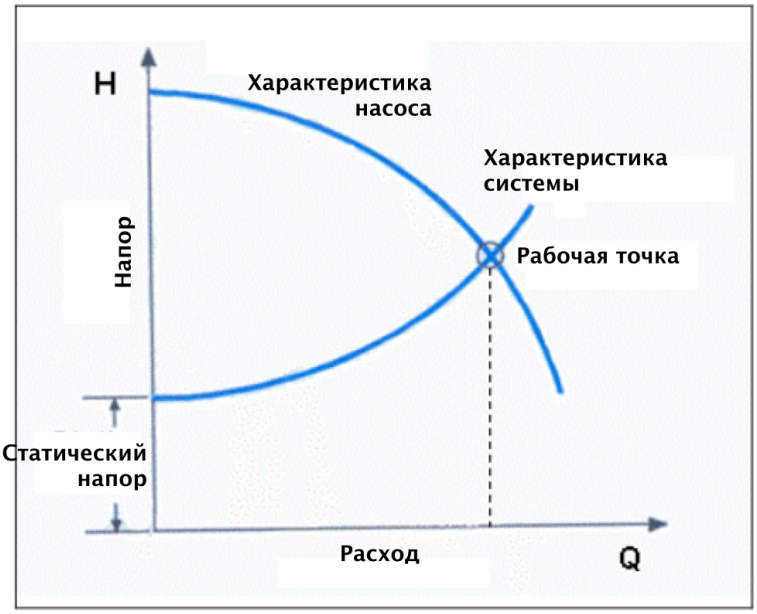


Рисунок 3.37: Соотношение напора и расхода

Собственное энергопотребление трубопроводной системы определяется потерями на трение при движении жидкости по трубопроводам, через клапаны и другие элементы системы. Величина потерь пропорциональна квадрату расхода. Потери на трение могут быть сведены к минимуму с использованием следующих средств:

- устранение излишних клапанов;
- устранение излишних изгибов трубопроводной системы (в особенности, крутых);
- обеспечение достаточного диаметра трубопроводов.

3.8.4. Техническое обслуживание

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Мотивам внедрения», «Примерам», а также «Справочной информации» для методов повышения энергоэффективности насосных систем приведена в разделе 3.8.7).

Необходимость слишком частого технического обслуживания насосов может быть признаком:

- кавитации в насосах;

- значительного износа насосов;
- того, что тип используемых насосов не соответствует выполняемым ими функциям.

Необходимость дросселирования при постоянном напоре и расходе указывает на избыточную мощность насоса. Падение давления на регулирующем клапане приводит к потерям энергии, величина которых пропорциональна падению давления и расходу.

Как правило, значительный шум при работе насоса указывает на наличие процессов кавитации, являющихся следствием сильного дросселирования или чрезмерного расхода. Шум в регулирующих или перепускных клапанах является признаком существенного падения давления, приводящего к значительным потерям энергии.

Со временем производительность и КПД насоса постепенно снижаются. В частности, это является результатом увеличения зазоров между различными компонентами насоса: корпусом; рабочим колесом; сужающими втулками; кольцами; подшипниками. Испытания, проводимые в ходе мониторинга состояния системы, способны выявить подобную ситуацию. Если имеют место значительное снижение производительности, следует восстановить оптимальную величину зазоров между компонентами. По результатам мониторинга может быть также принято решение о замене рабочего колеса или уменьшении его размера с целью снижения энергопотребления насоса.

Снижению потерь на трение может способствовать и нанесение покрытия на рабочие поверхности насоса.

3.8.5. Управление насосными системами и их регулирование

Общая характеристика и производственная информация

(Информация по «Экологическим преимуществам», «Воздействию на различные компоненты окружающей среды», «Применимости», «Экономическим аспектам», «Мотивам внедрения», «Примерам», а также «Справочной информации» для методов повышения энергоэффективности насосных систем приведена в разделе 3.8.7).

Применение насоса может предусматривать несколько рабочих точек, причем номинальные характеристики насоса определяются рабочей точкой с наибольшим расходом и/или напором. Система управления и регулирования способна сыграть важную роль в эксплуатации насосной системы, позволяя оптимизировать ее рабочие характеристики (напор и расход). Использование такой системы способствует:

- более качественному управлению технологическим процессом;
- повышению надежности системы;
- энергосбережению.

В любых насосных системах, эксплуатационные условия которых характеризуется значительными колебаниями (например, нормальное рабочее давление или напор составляют менее 75% максимальных значений), скорее всего, имеют место существенные потери энергии, связанные с чрезмерным дросселированием, перепуском значительных потоков или эксплуатацией насосов, необходимость в работе которых отсутствует.

Могут применяться следующие методы управления работой насосной системы:

- отключение насосов, необходимость в работе которых отсутствует. Несмотря на очевидность этой меры, ее часто упускают из виду в ситуации, когда потребности производства в воде или другой нагнетаемой жидкости значительно сокращаются (это иллюстрирует важность анализа системы в целом);
- использование приводов с переменной скоростью (электродвигателей, оборудованных преобразователями частоты) способствует достижению максимальной эффективности системы, позволяя гибко регулировать производительность в зависимости от меняющихся потребностей. Однако реализация этого метода требует более значительных инвестиций, чем применение других подходов к управлению производительностью. Приводы с

переменной скоростью не являются оптимальным решением для любых ситуаций; например, их применение нецелесообразно в условиях, когда система работает при постоянной нагрузке (см. раздел 3.6.3);

- использование нескольких насосов представляет собой альтернативу методам управления при помощи приводов с переменной скоростью, перепуска или дросселирования. Энергосбережение при этом достигается за счет того, что в условиях низких нагрузок часть насосов останавливается, в то время как остальные насосы функционируют в режиме, обеспечивающем высокий КПД. Использование нескольких небольших насосов оправдано в условиях, когда обычная производительность системы составляет менее половины максимальной необходимой производительности. Как правило, основными источниками потерь в системе с несколькими насосами являются перепуски избыточной жидкости, работа избыточных насосов, поддержание чрезмерного давления, а также недостаточное количество градаций производительности, достигаемых посредством запуска/остановки отдельных насосов;
- управление производительностью системы с центробежным насосом посредством дросселирования (при помощи расширительного клапана) приводит к потерям энергии. Тем не менее, этот метод сопряжен с меньшими потерями, чем два других распространенных метода регулирования – отсутствие управления или управление при помощи перепусков. Поэтому дросселирование может быть средством энергосбережения, хотя и неоптимальным.

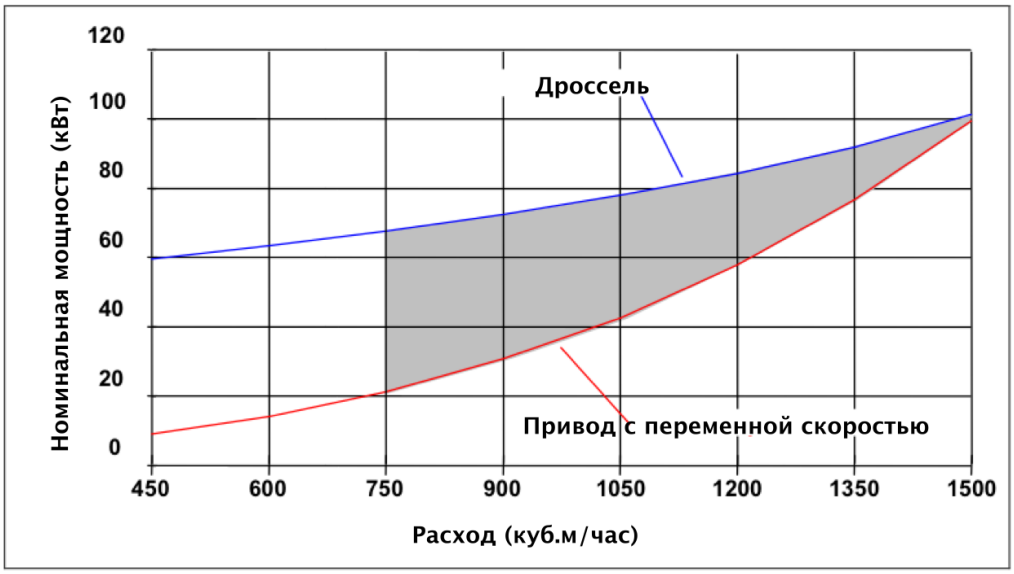


Рисунок 3.38: Сравнение энергопотребления при использовании двух систем управления производительностью динамического насоса

3.8.6. Привод и передача

См. раздел 3.6 «Подсистемы с электроприводом». Следует подчеркнуть важность подбора оптимального насоса (см. раздел 3.8.2) и соответствующей мощности привода для удовлетворения потребностей конкретной системы (см. раздел 3.6.2).

3.8.7. Экологические преимущества, воздействие на различные компоненты окружающей среды, применимость и другие соображения относительно методов повышения энергоэффективности насосных систем

Экологические преимущества

По данным некоторых исследований, за счет замены оборудования и совершенствования систем управления возможно снизить энергопотребление насосных систем на 30-50%.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Применимость

Применимость тех или иных мер и связанный с ними экономический эффект зависят от масштаба и характеристик конкретного производства и насосной системы. Поэтому оптимальные меры по повышению энергоэффективности могут быть определены только основе анализа системы и потребностей производства. Такой анализ должен выполняться квалифицированным инженерно-техническим персоналом предприятия или представителями поставщика насосного оборудования.

Результаты анализа должны включать перечень мер, применимых в условиях данного предприятия, оценку связанных с ними затрат и экономического эффекта, а также предполагаемый период окупаемости.

Экономические аспекты

Срок службы насосных систем часто составляет 15–20 лет. Поэтому при приобретении насосного оборудования следует учитывать не только начальные затраты (стоимость оборудования и его установки), но и затраты на протяжении всего жизненного цикла системы.

Как правило, насосы закупаются как отдельные единицы оборудования, однако они могут выполнять полезные функции лишь в рамках системы. Поэтому при анализе экономических вопросов, связанных с закупкой насосного оборудования, необходимо принимать во внимание систему в целом.

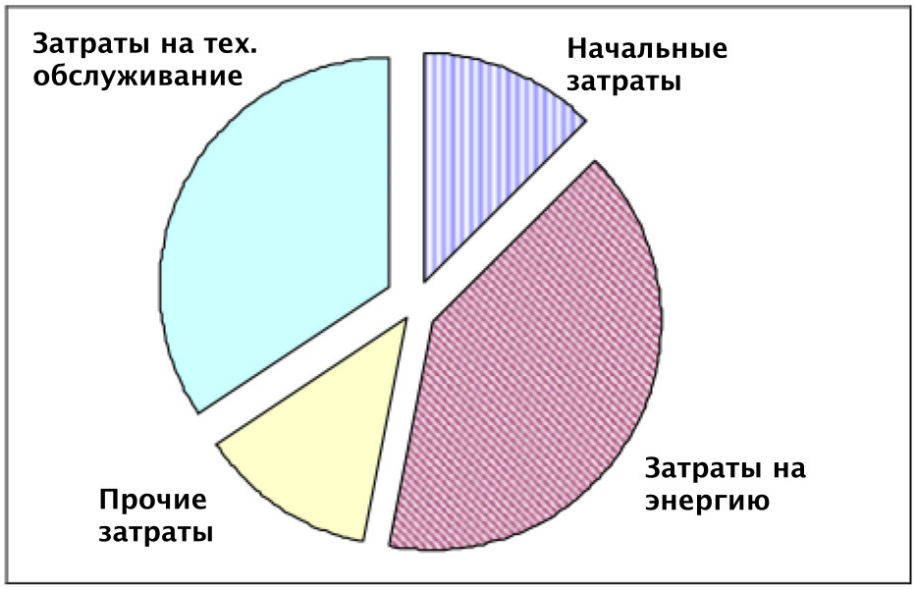


Рисунок 3.39: Типичная структура затрат на протяжении жизненного цикла промышленного насоса средней мощности

[200, TWG]

Мотивы внедрения

Энергосбережение и сокращение затрат.

Примеры

Описанные методы оптимизации насосных систем широко применяются.

Справочная информация

[170, EC, 2003, 199, TWG, , 200, TWG]

3.9. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ)

Введение

В состав типичной системы ОВКВ входит отопительное или холодильное оборудование (информация о котлах приведена в разделе 3.2, о тепловых насосах – в разделе 3.3.2 и последующих разделах), насосы (раздел 3.8) и/или вентиляторы, трубопроводы, чиллеры (холодильные установки, см. раздел 3.3.3) и теплообменники (см. раздел 3.3.1), обеспечивающее подведение тепла к помещениям и технологическим процессам или отведение тепла от них. Принципиальная схема системы ОВКВ приведена на рис. 3.40.

По данным исследований, около 60% энергопотребления систем ОВКВ приходится на чиллеры/тепловые насосы, а оставшиеся 40% – на периферийное оборудование.

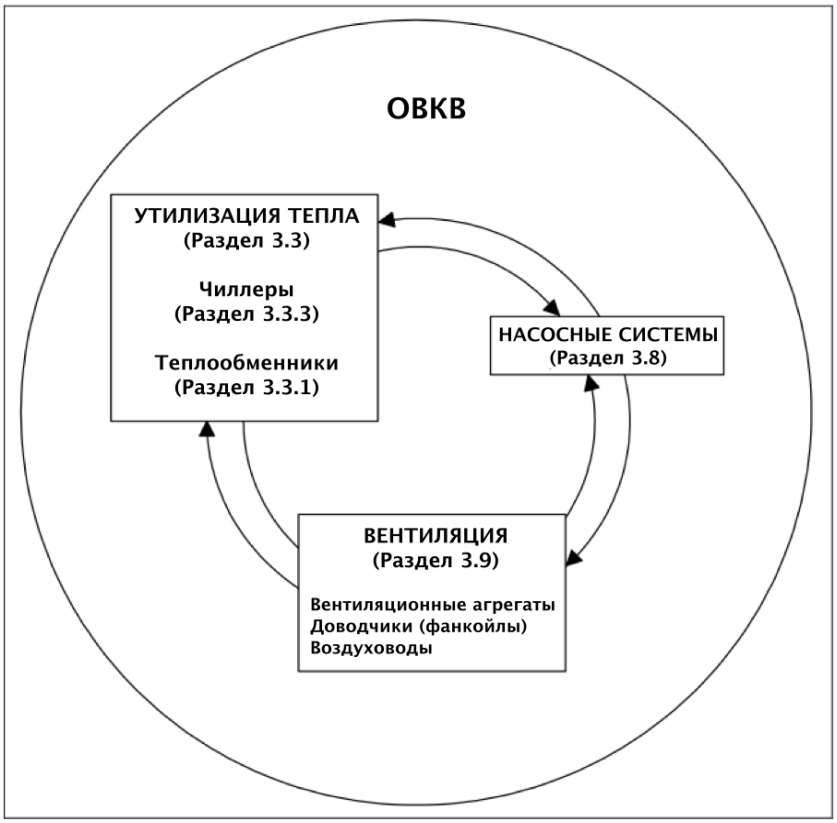


Рисунок 3.40: Схема системы ОВКВ

3.9.1. Отопление и охлаждение помещений

Общая характеристика

На установках КПКЗ осуществляется широкий диапазон видов деятельности, связанной с отоплением и охлаждением помещений. Конкретный вид деятельности и ее применение зависят от отрасли и климата в месте расположения предприятия. Отопление и охлаждение используются, в частности, с целью:

- обеспечения благоприятных условий в рабочей зоне;
- создания условий для обеспечения качества продукции (например, при осуществлении технологических процессов в «холодных комнатах»);
- поддержания оптимальных условий для хранения или обработки материалов, например, при складировании отходов в закрытых помещениях в странах Скандинавии или для предотвращения коррозии на производствах по обработке металлических поверхностей.

Системы могут носить как локальный (например, инфракрасные обогреватели для оборудования в складских помещениях), так и централизованный (например, системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях) характер.

С отоплением и охлаждением помещений связано значительное потребление энергии. Например, во Франции данная величина составляет 30 ТВт·ч, что соответствует почти 10% национального потребления топлива. В очень многих случаях при отоплении промышленных зданий поддерживаемая температура может быть без ущерба снижена на 1–2°C и, напротив, при охлаждении заданная температура может быть повышена на 1–2ºC без ущерба для комфорта. Поскольку подобные меры сопровождаются изменением условий труда персонала, их реализация должна сопровождаться информационной кампанией.

Существует два принципиальных подхода к снижению энергопотребления систем отопления/охлаждения:

- сокращение потребностей в отоплении/охлаждении посредством:
  - теплоизоляции зданий;
  - эффективного остекления;
  - ограничения инфильтрации воздуха;
  - автоматического закрытия дверей;
  - дестратификации (предотвращения расслоения теплого и холодного воздуха и скопления теплого воздуха под потолком);
  - поддержания пониженной температуры в нерабочее время (посредством программирования системы управления);
  - уменьшения (увеличения) заданного уровня температуры;
- повышение эффективности систем отопления посредством:
  - утилизации отходящего тепла (см. раздел 3.3);
  - использования тепловых насосов;
  - применения систем лучистого и локального отопления в сочетании с пониженной температурой в помещениях, где отсутствуют рабочие места.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Снижение заданного уровня температуры на 1°C в случае отопления или повышение уровня на 1°C в случае охлаждения способно снизить энергопотребление на 5–10 % в зависимости от средней разницы температур помещения и наружного воздуха. В многих случаях повышение заданной температуры при кондиционировании воздуха обеспечивает больший эффект, поскольку разница температур в этом случае, как правило, выше. Однако эта закономерность носит обобщенный характер, и конкретная величина экономии зависит от климатических условий данного региона.

Ограничение отопления/охлаждения в нерабочее время для предприятия способно снизить соответствующее потребление электроэнергии на 40% (для предприятия с восьмичасовым рабочим днем). Ограничение отопления с постоянным поддержанием пониженной температуры в помещениях, где отсутствуют рабочие места, в сочетании с локальным отоплением рабочих мест способно обеспечить до 80% энергосбережения, в зависимости от доли площадей, занятых рабочими местами персонала.

Применимость

Поддерживаемые уровни температур могут определяться исходя из других критериев, например, минимума температуры на рабочих местах, требуемого нормативными документами, или максимума температуры, обеспечивающего требуемое качество пищевой продукции.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[278, ADEME], [234, PROMOT, 260, TWG, 2008]

3.9.2. Вентиляция

Введение

Наличие вентиляционной системы является условием адекватного функционирования многих производственных объектов. Вентиляционная система позволяет:

- защищать персонал от воздействия загрязняющих веществ и избыточного тепла, образующихся в процессе производства;
- поддерживать в производственных помещениях чистую атмосферу, необходимую для обеспечения надлежащего качества продукции.

В состав вентиляционной системы входит целый ряд взаимодействующих компонентов (см. рис. 3.41), например:

- воздушная система (воздухозаборники, воздухораспределитель, сеть воздуховодов);
- вентиляторное оборудование (вентиляторы, двигатели, системы передачи);
- система управления и регулирования (регулирование расхода в зависимости от потребностей, интеграция с системой централизованного управления зданиями и т.п.);
- устройства утилизации энергии;
- устройства воздухоочистки;
- другое оборудование, зависящее от типа вентиляционной системы (общеобменная или местная вентиляция, с кондиционированием воздуха или без такового и т.д.).

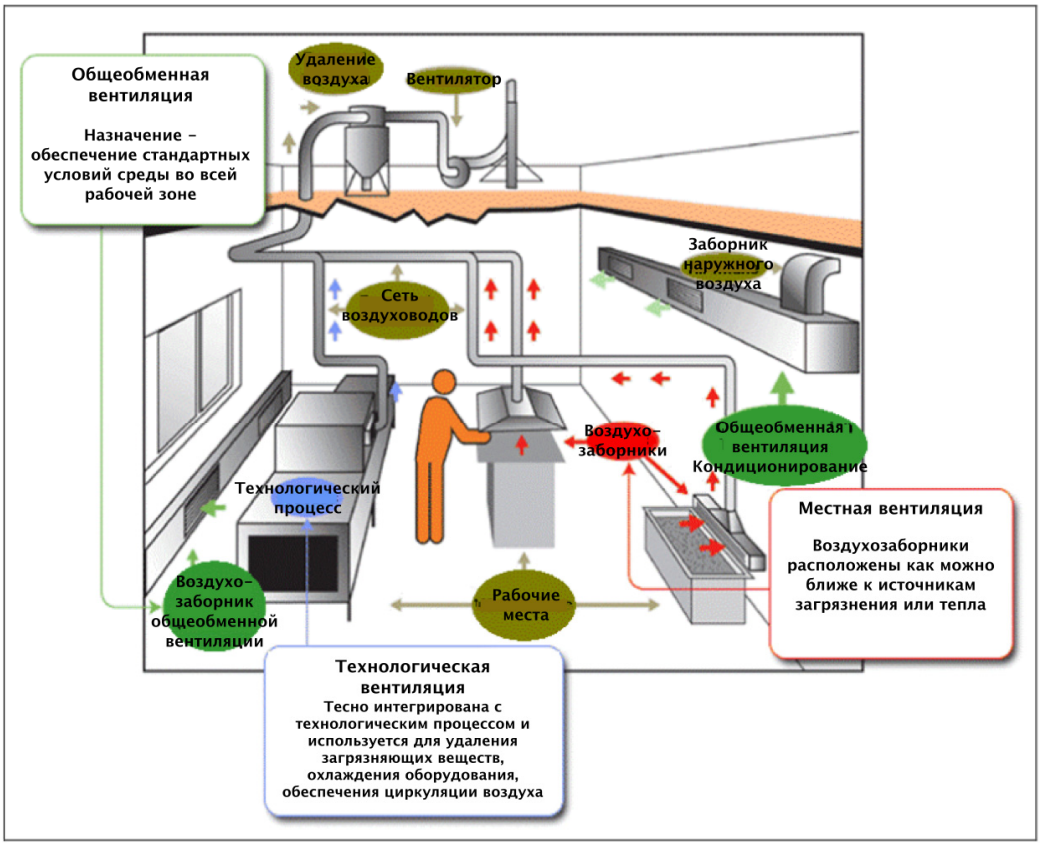


Рисунок 3.41: Вентиляционная система

3.9.2.1. Оптимизация проектных решений при внедрении новой или модернизации существующей системы вентиляции

Общая характеристика

Ясное представление о назначении вентиляционной системы и предъявляемых к ней требованиях является важным условием выработки оптимальных проектных решений. Назначением системы может быть, в частности:

- обеспечение помещений свежим воздухом;
- поддержание условий рабочей зоны (температуры, давления, влажности и т.п.), комфортабельных для персонала и благоприятных для его здоровья, или необходимых для обеспечения качества продукции;
- транспортировка материалов;
- удаление дыма, пыли, влаги и/или вредных веществ.

Схема, приведенная на рис. 3.42, может оказаться полезной при принятии решений по оптимизации энергопотребления конкретной вентиляционной системы:

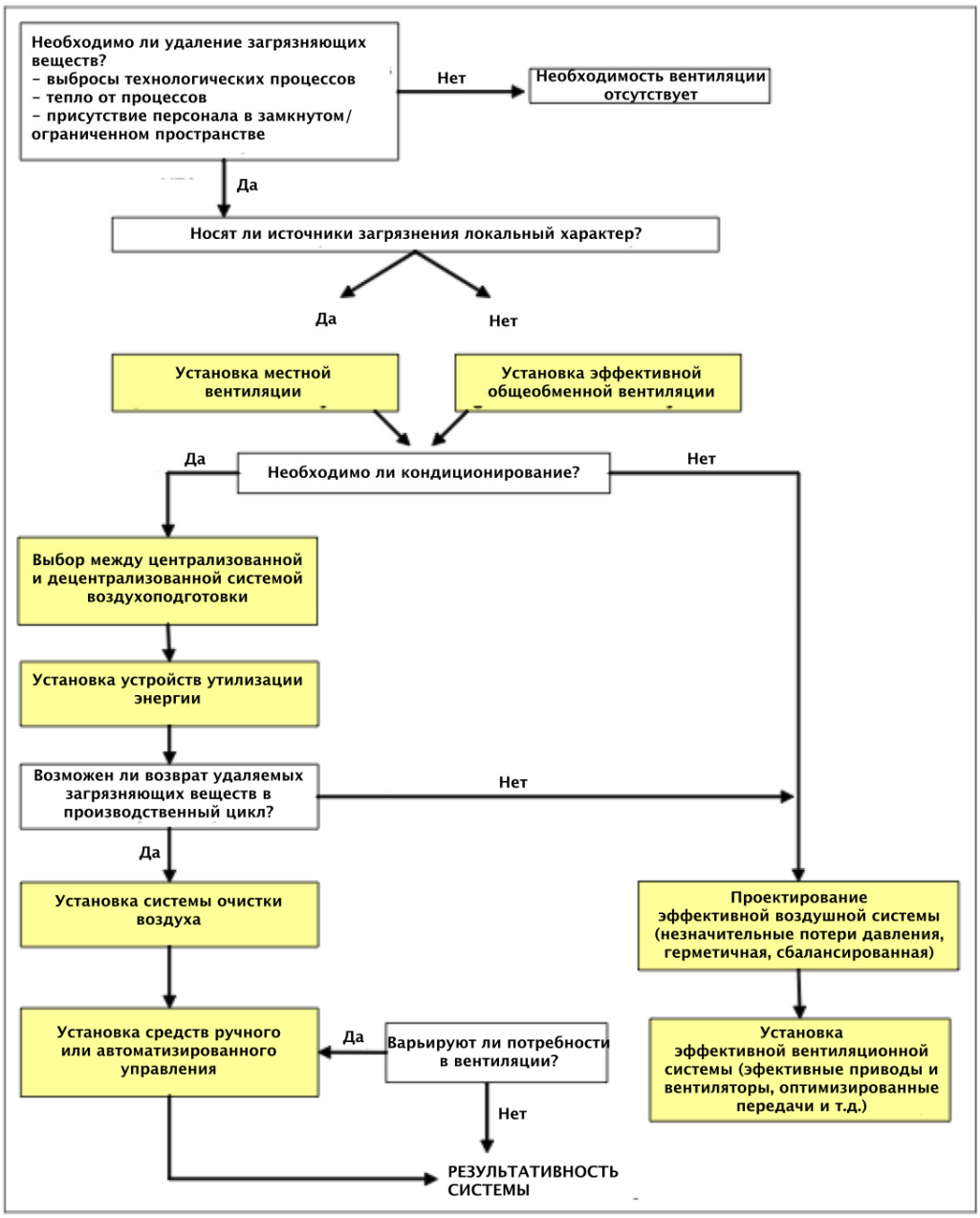


Рисунок 3.42: Блок-схема принятия решений по оптимизации энергопотребления вентиляционной системы

Взаимодействия между компонентами системы, прежде всего, между вентилятором и системой воздуховодов, могут быть источником значительной части потерь в системе. Поэтому целесообразно с самого начала проектирования системы принимать во внимание как функциональные требования к ней, так и требования энергоэффективности.

На предприятии могут использоваться следующие типы вентиляционных систем (см. рис. 3.41):

- *системы общеобменной вентиляции*: эти системы предназначены для организации обмена воздуха во всем объеме крупных производственных помещений. Существует несколько разновидностей систем вентиляции, выбор между которыми определяется характером производственных помещений, а также наличием или отсутствием потребностей в удалении загрязняющих веществ и кондиционировании воздуха. Важной характеристикой вентиляционных систем, определяющей их энергопотребление, является расход воздуха. Энергопотребление тем ниже, чем ниже расход;
- *системы местной (локальной) вентиляции*: основным назначением этих вентиляционных систем является удаление вредных веществ непосредственно у источника их образования. В отличие от общеобменных систем, системы местной вентиляции ориентированы на локальные источники загрязняющих веществ, обеспечивая удаление последних при помощи специально размещенных воздухозаборников и предотвращая их рассеяние в воздухе рабочей зоны. К преимуществам подобных систем относятся:
    - предотвращение любого контакта вредных веществ с оператором процесса;
    - отсутствие необходимости обмена воздуха во всем объеме рабочей зоны.

И в том, и в другом случае отводимый воздух может нуждаться в очистке перед выбросом в атмосферу (подробнее см. Справочный документ по очистке сточных вод и отходящих газов в химической промышленности).

Экологические преимущества

Согласно оценкам, на вентиляционные системы приходится 10% электроэнергии, потребляемой компаниями. Если одновременно осуществляется кондиционирование воздуха, на вентиляцию вместе с кондиционированием может приходиться еще большая доля энергопотребления компании.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная инфомация

- *вентиляторы*: на вентиляторы приходится основная доля энергопотребления вентиляционной системы. Тип и мощность вентиляторов, а также способы управления ими представляют собой важные факторы энергоэффективности системы. Примечание: выбор вентилятора с высоким КПД позволяет снизить требования к общей мощности вентилятора, что может привести к снижению затрат на закупку оборудования. При проектировании вентиляционной системы или планировании модернизации существующей системы следует принимать во внимание следующие факторы:
    - КПД вентилятора: как правило, максимальный КПД вентилятора находится в диапазоне от 60 до 85% в зависимости от типа устройства. В настоящее время разрабатываются линейки вентиляторов с еще более высоким КПД;
    - близость режима работы вентилятора к оптимальному: КПД отдельного вентилятора может зависеть от режима его работы (скорости вращения). Поэтому важно подобрать для системы такие вентиляторы, которые функционировали бы в режиме, близком к оптимальному, в условиях конкретной системы;
- *воздушная система*: для обеспечения энергоэффективности воздушная система должна удовлетворять некоторым требованиям:
    - воздуховоды должны иметь достаточный диаметр (в некоторых случаях увеличение диаметра на 10% способно привести к снижению потерь в воздуховоде на 72%);

- использование воздуховодов круглого сечения является более предпочтительным, чем прямоугольных воздуховодов с той же площадью поперечного сечения, поскольку первые характеризуются меньшими потерями давления;
- следует избегать транспортировки воздуха на большие расстояния, а также создания препятствий для движения воздуха (изгибов, сужений и т.п.);
- необходимо обеспечить герметичность системы, в особенности, в местах соединений;
- на этапе проектирования следует убедиться в том, что система является сбалансированной, т.е., обеспечивает всех потребителей необходимой вентиляцией. Попытки сбалансировать действующую систему, например, путем установки в воздуховодах дополнительных клапанов, приводят к потерям давления и энергии;

- *электродвигатели (и передача от двигателя к вентилятору)*: следует выбрать оптимальные тип и мощность двигателя (см. раздел 3.6 «Подсистемы с электроприводом»);
- *управление расходом воздуха*: расход воздуха является важнейшим параметром, определяющим энергопотребление вентиляционных систем. Например, сокращение расхода на 20% может привести к снижению энергопотребления вентилятора на 50%. От большинства вентиляционных систем не требуется постоянное функционирование с максимальной производительностью. Поэтому важной характеристикой системы является возможность управления ее производительностью (частотой вращения вентилятора) в зависимости от ряда параметров, которые могут включать, например:
  - состояние производственного процесса (производительность, тип продукции, состав задействованного оборудования и т.д.);
  - период (год, месяц, день, время суток и т.п.);
  - наличие персонала в рабочей зоне.

Важно проанализировать динамику потребностей в вентиляции, используя датчики присутствия, а также измерительные устройства, отражающие состояние технологического процесса, и использовать полученные данные при проектировании управляемой вентиляционной системы.

Приточно-вытяжные вентиляционные системы, сочетающие приток (поступление свежего воздуха) с вытяжкой (удаление загрязненного воздуха), предоставляют больше возможностей для управления расходом воздуха, например, при помощи систем кондиционирования воздуха или утилизации тепла. Установка автоматизированной системы управления предоставляет возможность управления вентиляционной системой на основе различных параметров (измеряемых или задаваемых) и постоянной оптимизации функционирования этой системы.

Существует ряд методов управления расходом воздуха в зависимости от потребности, причем различные методы характеризуются неодинаковым уровнем энергоэффективности:

- электронное управление скоростью электропривода позволяет гибко управлять производительностью вентилятора, оптимизируя энергопотребление двигателя и, как следствие, обеспечивая значительное энергосбережение;
- управление шагом (углом по отношению к потоку воздуха) лопастей вентилятора также способно обеспечить значительное энергосбережение;

- *система утилизации энергии:* если вентилируемые помещения оборудованы системой кондиционирования воздуха, свежий воздух, подаваемый в помещения в процессе вентиляции, должен подвергаться кондиционированию, что сопряжено со значительными затратами энергии. Системы утилизации энергии (теплообменники) позволяют утилизировать часть энергии, затраченной ранее на кондиционирование воздуха, удаляемого из помещений. При выборе системы утилизации энергии необходимо учитывать следующие три параметра:
  - тепловой КПД;
  - потеря давления;
  - чувствительность к загрязнению.

- фильтрация воздуха: система фильтрации позволяет повторно использовать загрязненный воздух, удаляемый из помещений. В результате сокращается потребность в притоке и кондиционировании свежего воздуха, что создает возможности для значительного энергосбережения. Оптимальным для принятия решения об оснащении системы вентиляции фильтрами является этап проектирования, поскольку в этом случае дополнительные затраты, связанные с реализацией подобного решения, относительно невелики по сравнению с затратами на добавление фильтров к действующей системе. Важно рассмотреть возможности для рецикла или повторного использования загрязняющих веществ, удаляемых фильтрами из воздуха. При изучении возможных вариантов фильтрации воздуха следует учесть следующие параметры:
    - степень возврата в производственный цикл или повторного использования веществ, удаляемых из воздуха;
    - потеря давления на фильтрах;
    - поведение фильтров в случае их загрязнения.

Рекомендации по повышению эффективности существующих вентиляционных систем приведены в разделе 3.9.2.2.

Применимость

Применимо при проектировании любых новых вентиляционных систем или модернизации существующих.

Экономические аспекты

Энергоаудит вентиляционных систем показал, что в большинстве случаев имеется значительный потенциал энергосбережения, который может достигать 30% общего энергопотребления системы. Существует целый ряд возможных мероприятий по повышению энергоэффективности, для многих их которых период окупаемости не превышает 3 лет.

Мотивы внедрения

- повышение уровня охраны труда и производственной безопасности на рабочих местах;
- сокращение затрат;
- повышение качества продукции.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[202, IFTS_CMI, 1999]

3.9.2.2. Повышение эффективности существующей вентиляционной системы

Общая характеристика

Следует отметить, что повышение энергоэффективности вентиляционной системы в некоторых случаях сопровождается улучшениями в таких областях, как:

- комфорт и безопасность персонала;
- качество продукции.

Мероприятия по повышению эффективности существующей вентиляционной системы могут осуществляться на трех уровнях:

- оптимизация функционирования системы;
- разработка и осуществление плана технического обслуживания системы;
- инвестиции в более эффективные технические решения.

Экологические преимущества

Объемы энергосбережения после оптимизации всех аспектов вентиляционной системы могут составить в среднем около 30% общего энергопотребления системы.

Воздействия на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Энергетическая диагностика (комплексный аудит)

Наличие информации о системе и ее функционировании является необходимой предпосылкой повышения ее эффективности. Энергетическая диагностика вентиляционной системы позволяет решить следующие задачи:

- оценка производительности и эффективности вентиляционной системы;
- определение затрат на производство сжатого воздуха;
- выявление любых неисправностей или причин неэффективности;
- выбор нового оборудования для системы, имеющего оптимальную мощность.

Техническое обслуживание и мониторинг системы

С течением времени энергопотребление вентиляционной системы постепенно возрастает, в частности, за счет загрязнения и износа ее компонентов. Для поддержания оптимального уровня эффективности системы следует производить регулярный мониторинг ее состояния и при необходимости осуществлять мероприятия по техническому обслуживанию системы. Это способно привести к значительному энергосбережению с одновременным увеличением срока службы системы. Необходимые мероприятия могут включать:

- организацию кампаний по выявлению и устранению утечек в системе воздуховодов;
- регулярную замену фильтров, в особенности, в воздухоочистном оборудовании, поскольку:
    - величина потери давления быстро возрастает по мере износа фильтра;
    - эффективность улавливания твердых частиц фильтром снижается с течением времени;
- проверку соответствия стандартам в области охраны труда и производственной безопасности, устанавливающим требования по удалению вредных веществ;
- регулярные измерения и фиксацию основных рабочих параметров системы (потребления электроэнергии, потери давления на устройствах, расхода воздуха).

Мероприятия по оптимизации функционирования системы

- немедленные действия:
    - отключение вентиляции или сокращение расхода воздуха там, где это возможно. Энергопотребление вентиляционной системы непосредственно зависит от расхода воздуха. Требуемый расход определяется такими факторами, как:
        - присутствие персонала в рабочей зоне;
        - количество источников загрязнения и типы загрязняющих веществ;
        - интенсивность и местоположение каждого источника загрязнения;
    - замена отработанных фильтров;
    - устранение утечек в воздушной системе;
    - если в процессе работы системы осуществляется кондиционирование воздуха, следует проверить параметры кондиционирования и обеспечить их соответствие потребностям;
- простые, действенные мероприятия:
    - оборудование рабочих мест надлежащими воздухозаборниками;

- оптимизация количества, формы и размера воздухозаборников, расположенных вблизи источников вредных веществ, с целью максимально возможного сокращения расхода воздуха, связанного с удалением вредных веществ (см. Справочный документ по обработке поверхностей металлов и пластмасс);
- изучение возможностей для автоматизированного регулирования расхода воздуха на основе фактических потребностей. Такое регулирование может осуществляться различными способами:
  - вентиляция может автоматически включаться или отключаться при запуске или остановке определенного оборудования (например, некоторых станков или сварочных горелок);
  - вентиляция может включаться или усиливаться при повышении концентрации загрязняющих веществ. Например, погружение детали в ванну для обработки сопровождается более интенсивным выделением вредных веществ. Поэтому вентиляционная система может работать с большей интенсивностью в те периоды, когда детали обрабатываются в ваннах;
  - закрытие неиспользуемых ванн и резервуаров, выполняемое автоматически или вручную (см. Справочный документ по обработке поверхностей металлов и пластмасс)

При регулировании расхода важно убедиться в том, что требования охраны труда и производственной безопасности на рабочих местах выполняются при любых режимах функционирования системы.

- система воздуховодов должна быть сбалансирована для того, чтобы избежать чрезмерной интенсивности вентиляции в некоторых местах системы. Работы по балансированию системы могут выполняться специализированными компаниями;

- экономически эффективные мероприятия:
  - оборудование вентиляторов, работающих там, где необходим переменный расход воздуха, приводами с переменной скоростью;
  - установка высокоэффективных вентиляторов;
  - установка вентиляторов с оптимальной производительностью, отвечающей условиям конкретного производства;
  - установка высокоэффективных электродвигателей (например, относящихся к классу EFF1)
  - интеграция управления вентиляционной системой в централизованную систему управления техническими службами здания;
  - установка датчиков и измерительных приборов (расходомеров, приборов учета электроэнергии), позволяющих осуществлять мониторинг функционирования системы;
  - изучение возможностей оснащения системы воздушными фильтрами и устройствами утилизации энергии с целью избежать значительных потерь энергии, связанных с выбросом загрязненного воздуха в атмосферу;
  - изучение возможностей реорганизации вентиляционной системы в целом и ее разделения на системы общеобменной, местной и технологической вентиляции.

Применимость

Применимо к любым существующим системам.

Экономические аспекты

Энергоаудит вентиляционных систем показал, что в большинстве случаев имеется значительный потенциал энергосбережения, который может достигать 30% общего энергопотребления системы.

Существует целый ряд возможных мероприятий по повышению энергоэффективности, для многих их которых период окупаемости не превышает двух лет.

Мотивы внедрения

- повышение уровня охраны труда и производственной безопасности на рабочих местах;
- сокращение затрат;
- повышение качества продукции.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[202, IFTS_CMI, 1999]

3.9.3. Естественное охлаждение

Общая характеристика

Энергоэффективность процессов охлаждения, осуществляемых как для кондиционирования воздуха, так и для нужд технологических процессов, может быть повышена за счет естественного (свободного) охлаждения. Естественное охлаждение может осуществляться в условиях, когда энтальпия наружного атмосферного воздуха оказывается ниже, чем энтальпия воздуха в помещениях. Данный метод охлаждения называется естественным, поскольку он основан на использовании атмосферного воздуха.

Холод передается охлаждаемой системе от атмосферного воздуха либо непосредственно, либо опосредованным (косвенным) образом. Как правило, на практике используются методы опосредованной передачи холода. Система, основанная на таких принципах, представляет собой сочетание прямоточной и рециркуляционной систем (см. рис. 3.43). Регулирование работы системы осуществляется при помощи автоматических вентилей: при наличии достаточно холодного наружного воздуха (т.е., когда температура наружного воздуха по влажному термометру оказывается ниже заданной температуры охлаждения воды), вентиль автоматически увеличивает забор наружного воздуха, одновременно сокращая внутреннюю рециркуляцию для обеспечения максимального использования естественного охлаждения. Использование подобных методов позволяет снизить нагрузку на холодильное оборудование в холодное время года и/или в ночное время. Существуют различные технические реализации принципа естественного охлаждения. На рис. 3.43 показана возможная схема простой системы, реализующей этот принцип.

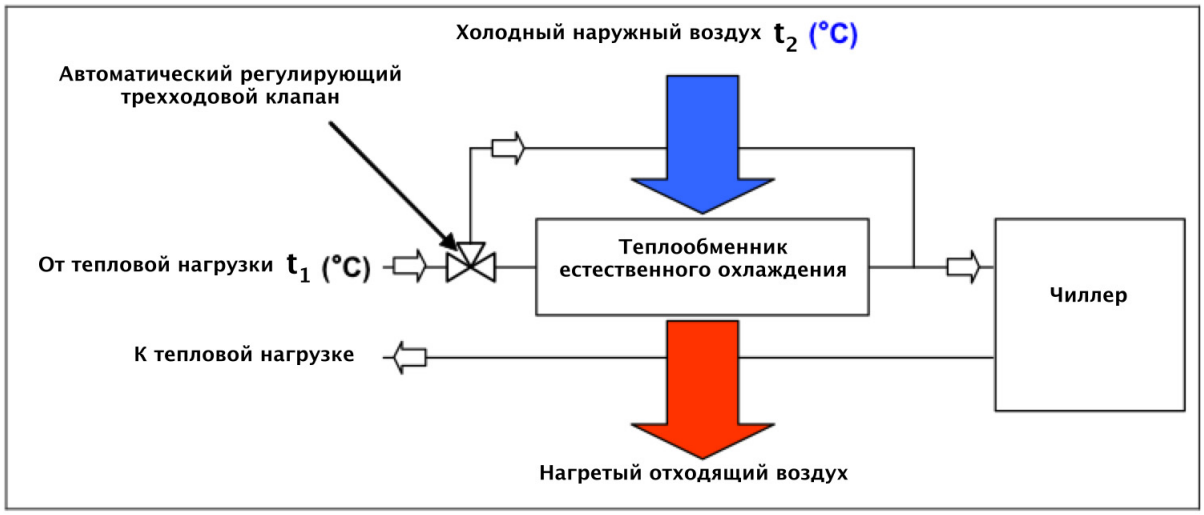


Рисунок 3.43: Возможная схема системы с естественным охлаждением

Вода, направляемая для охлаждения в чиллер, при помощи трехходового клапана автоматически направляется в теплообменник свободного охлаждения. Здесь происходит предварительное

охлаждение воды, позволяющее снизить нагрузку на чиллер и энергопотребление соответствующих компрессоров. Чем больше разница между температурой окружающего воздуха и температурой воды, поступающей в чиллер, тем больше эффект естественного охлаждения и связанное с ним энергосбережение.

Экологические преимущества

Как правило, чиллеры оснащаются электроприводом; в некоторых случаях они используют тепловую энергию. В любом случае, естественное охлаждение приводит к сокращению потребления первичных энергоресурсов.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Известные воздействия отсутствуют.

Производственная информация

Естественное охлаждение является эффективным в том случае, если температура наружного воздуха хотя бы на 1°C ниже, чем температура воды, поступающей в чиллер. Например, если на рис. 3.43 t_1 (температура воды, поступающей в чиллер) равна 11°C, естественное охлаждение может быть задействовано при температуре наружного воздуха (t_2) ниже 10°C.

Применимость

Естественное охлаждение применимо при определенных условиях. В случае опосредованной передачи холода температура наружного воздуха должна быть ниже температуры жидкого хладагента, поступающего в чиллер. При непосредственной передаче холода температура наружного воздуха должна быть равной или меньшей, чем заданная температура охлаждения жидкости. При оценке возможности внедрения естественного охлаждения следует учесть возможную потребность в дополнительных площадях.

Согласно оценкам, естественное охлаждение применимо в 25% случаев.

Теплообменники естественного охлаждения могут быть установлены в составе новой системы охлаждения или добавлены к существующей системе.

Экономические аспекты

С использованием естественного охлаждения связаны экономические преимущества: холод наружного воздуха является бесплатным, тогда как его использование позволяет сократить энергопотребление компрессоров и, как следствие, затраты на приобретение энергии.

Как правило, предпочтительным является изучение возможностей для включения естественного охлаждения при проектировании новой системы или планировании значительной модернизации существующей. Период окупаемости для новой системы может составить всего 12 мес.; при добавлении естественного охлаждения к существующей системе период окупаемости может составлять 3 года.

Мотивы внедрения

- простота установки;
- энергосбережение и сокращение затрат.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[240, Hardy, , 241, Coolmation]

3.10. Освещение

Общая характеристика

На искусственное освещение приходится значительная доля мирового потребления электроэнергии. В офисных зданиях на освещение расходуется от 20 до 50% общего

энергопотребления. Еще более важно то, что для некоторых зданий до 90% затрат на освещение являются излишними, поскольку соответствующая энергия расходуется на избыточное освещение. Поэтому в настоящее время освещение является одной из важнейших составляющих энергопотребления, в особенности, для офисных зданий и других крупных объектов, нуждающихся в освещении. При этом имеется множество способов использования энергии для освещения, различающихся с точки зрения энергоэффективности.

Существует несколько методов, которые могут использоваться для минимизации связанного с освещением энергопотребления любого здания:

a) выявление требований к освещению каждого помещения или участка

Определение того, какой уровень освещенности требуется для каждого вида деятельности, является важнейшей составляющей деятельности по оптимизации систем освещения, поскольку энергопотребление системы растет вместе с уровнем освещенности. Искусственное освещение подразделяется на общее, местное и специализированное; разница между этими видами освещения состоит, главным образом, в распределении света, излучаемого источниками. Очевидно, что для коридора достаточно значительно меньшего уровня освещенности, чем для рабочего места оператора компьютера. Например, для помещений, предназначенных для проведения совещаний и конференций, может быть выбран уровень освещенности 800 лк, тогда как для коридоров здания может быть достаточно освещенности 400 лк:

- системы *общего освещения* предназначены для равномерного освещения помещения или участка в целом. В помещении общее освещение может обеспечиваться светильниками, находящимися в верхней зоне или, например, лампами, расположенными на столах или на полу. На открытом воздухе в темное время суток уровень освещенности может быть незначительным. Так, при общем освещении парковки уровень освещенности может составлять всего 10–20 лк, поскольку предполагается, что зрение пешеходов и водителей уже адаптировалось к низкой освещенности, и указанного уровня достаточно для безопасного движения по территории;
- *специализированное освещение* предназначено для выполнения конкретных задач, например, чтения или контроля качества материалов, и, как правило, является наиболее концентрированным видом освещения. Например, для чтения печатных материалов с низким качеством печати может потребоваться освещенность до 1500 лк, а хирургические операции и некоторые задачи, связанные с контролем качества продукции, могут требовать еще более высоких уровней освещенности.

b) анализ качества и организации освещения

- проектирование зданий и интерьеров (включая выбор геометрии помещений и материалов для поверхностей) с учетом климатических особенностей естественного освещения и расположения здания для оптимизации использования естественного освещения. Более широкое использование естественного освещения не только позволяет снизить энергопотребление, но и благоприятно влияет на здоровье и производительность персонала;
- планирование мероприятий по оптимизации использования естественного освещения;
- анализ требований к спектральному составу освещения для всех видов деятельности, требующих искусственного освещения;
- выбор типов светильников и ламп, отвечающих уровню наилучших доступных технологий в сфере энергоэффективности.

К основным типам электрических ламп и осветительных устройств относятся:

лампы накаливания: в такой лампе электрический ток протекает через тонкую металлическую нить и нагревает ее, в результате чего нить испускает электромагнитное излучение. Стеклянная колба, заполненная инертным газом, предотвращает быстрое разрушение нити вследствие окисления кислородом воздуха. Преимуществом ламп накаливания является то, что лампы этого типа могут производиться для широкого диапазона напряжений – от нескольких вольт до нескольких сот вольт. В силу низкой эффективности («светового КПД», учитывающего только

энергию излучения в видимом диапазоне) ламп накаливания эти устройства во многих применениях постепенно вытесняются люминесцентными лампами, газоразрядными лампами высокой интенсивности, светодиодами и другими источниками света.

газоразрядные лампы: этот термин охватывает несколько видов ламп, в которых источником света является электрический разряд в газовой среде. Основу конструкции такой лампы составляют два электрода, разделенные газом. Как правило, в таких лампах используется какой-либо инертный газ (аргон, неон, криптон, ксенон) или смесь таких газов. Помимо инертных газов, газоразрядные лампы в большинстве случаев содержат и другие вещества, например, ртуть, натрий и/или галогениды металлов. Так, широко распространенная люминесцентная лампа представляет собой ртутную газоразрядную лампу, внутренние стенки которой покрыты люминофором. Газоразрядные лампы высокой интенсивности требуют большей силы тока, чем люминесцентные. Существует множество разновидностей таких ламп, в которых используются различные вещества. Конкретные виды газоразрядных ламп часто называются по используемым в них веществах – неоновые, аргоновые, ксеноновые, криптоновые, натриевые, ртутные и металлогалогенные. К наиболее распространенным разновидностям газоразрядных ламп относятся:

- люминесцентные лампы;
- металлогалогенные лампы;
- натриевые лампы высокого давления;
- натриевые лампы низкого давления.

Газ, заполняющий газоразрядную лампу, должен быть ионизирован под действием электрического напряжения, чтобы приобрести необходимую электропроводность. Как правило, для запуска газоразрядной лампы («зажигания» разряда) требуется более высокое напряжение, чем для поддержания разряда. Для этого используется специальные «стартеры» или другие зажигающие устройства. Кроме того, для нормальной работы лампы необходима балластная нагрузка, обеспечивающая стабильность электрических характеристик лампы. Стартер в сочетании с балластом образуют пускорегулирующий аппарат (ПРА). Температура разряда может достигать нескольких тысяч градусов Цельсия. Газоразрядные лампы характеризуются длительным сроком службы и высоким «световым КПД». Недостатки этого типа ламп включают относительную сложность их производства и необходимость дополнительных электронных устройств для их стабильной работы.

- *серные лампы*: серная лампа представляет собой высокоэффективное осветительное устройство полного спектра без электродов, в котором источником света служит плазма серы, нагреваемая микроволновым излучением. Время разогрева серной лампы значительно меньше, чем у большинства типов газоразрядных ламп, за исключением люминесцентных, даже при низких температурах окружающей среды. Световой поток серной лампы достигает 80% максимальной величины в течение 20 с после включения; лампа может быть перезапущена примерно через пять минут после отключения электроэнергии;
- *светодиоды, в т.ч. органические*: светодиод представляет собой полупроводниковый диод, излучающий некогерентный свет в узком спектральном диапазоне. Одним из преимуществ светодиодного освещения является его высокая эффективность (световой поток в видимом диапазоне на единицу потребленной электроэнергии). Светодиод, в котором эмиссионный (излучающий) слой состоит из органических соединений, называется органическим светодиодом (OLED). Органические светодиоды легче, чем традиционные, а преимуществом полимерных светодиодов является их гибкость. Коммерческое применение обоих указанных типов светодиодов уже начато, однако их использование в промышленности пока ограничено.

Характеристики различных типов источников света, в т.ч. их эффективность, существенно различаются, как показано в табл. 3.27:

Тип источника	Оптический спектр	Номинальная эффектив-ность, лм/Вт (1)	Среднее время безотказной работы (СВБР), час.	Цветовая темпера-тура (2), К	Цвет	Индекс цвето-передачи (4)
Лампа накаливания	Непрерывный	12 – 17	1000 – 2500	2700	Теплый белый (желтоватый)	100
Галогенная лампа	Непрерывный	16 – 23	3000 – 6000	3200	Теплый белый (желтоватый)	100
Люминесцентная лампа	Линия ртути + спектр люминофора	52 – 100	8000 – 20000	2700 – 5000	Белый (с оттенком зеленого)	15 - 85
Металогалогенная лампа	Квазинепре-рывный	50 – 115	6000 – 20000	3000–4500	Холодный белый	65 – 93
Натриевая высокого давления	Широкая полоса	55 – 140	10000–40000	1800-2200 (3)	Розовато-оранжевый	0 - 70
Натриевая низкого давления	Узкая полоса	100 – 200	18000–20000	1800 (3)	Желтый, цветопередача практически отсутствует	0
Серная лампа	Непрерывный	80 – 110	15000–20000	6000	Бледно-зеленый	79
Светодиоды		20 – 40	1000		Янтарный и красный	
		10 – 20			Синий и зеленый	
		10 – 12			Белый	
(1) 1 лм = 1 кд·ср = 1 лк/м^2. (2) Цветовая температура определяется как температура абсолютно черного тела, обладающего сходным спектром. (3) Спектры этих ламп существенно отличаются от спектра абсолютно черного тела. (4) Индекс цветопередачи представляет собой меру способности источника передавать цвета различных предметов, освещенных данным источником.						

Таблица 3.27: Характеристики и эффективность различных источников света

Наиболее эффективным электрическим источником света является натриевая лампа низкого давления. Она испускает практически монохромный (оранжевый) свет, сильно искажающий зрительное восприятие цветов. По этой причине данный тип ламп используется, главным образом, для наружного освещения. «Световое загрязнение», создаваемое натриевыми лампами низкого давления, может быть легко отфильтровано в отличие от света других источников с широким или непрерывным спектром.

Данные о возможных вариантах организации освещения, включая существующие типы источников света, распространяются, в частности, в рамках европейской программы Green Light («Зеленый свет»). Эта добровольная инициатива направлена на содействие ее партнерам – частным и государственным организациям – в повышении энергоэффективности систем освещения. Партнеры инициативы принимают обязательство перед Европейской Комиссией устанавливать на своих объектах энергоэффективные системы освещения при условии, что это (1) является экономически эффективным и (2) позволяет сохранить или повысить качество освещения.

с) управление системами освещения

- внедрение систем управления освещением, использующих датчики присутствия, таймеры и другие устройства, позволяющие снизить затраты энергии на избыточное освещение;
- обучение персонала наиболее эффективному использованию осветительного оборудования;
- техническое облуживание систем освещения для сведения к минимуму потерь энергии.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Некоторые типы ламп, например, люминесцентные ртутные лампы, могут содержать такие токсичные вещества, как ртуть или свинец. По окончании срока службы такие лампы должны быть переработаны или размещены надлежащим образом.

Производственная информация

Обеспечение оптимального уровня освещенности и спектрального состава света для каждой задачи и типа среды является важной задачей. Неадекватное освещение может привести не только к потерям энергии, но и к негативным эффектам для здоровья и психологического состояния персонала, включая головные боли, стресс и повышенное кровяное давление. Кроме того, следствием бликов или чрезмерной освещенности может быть снижение производительности труда. Было показано, что искусственное освещение в ночной период может вызывать нарушения менструального цикла.

Для оценки результативности программ по повышению энергоэффективности могут формироваться модели системы до и после осуществления проекта, а также использоваться другие методы оценки, основанные на методологии «оценки и верификации» (см. раздел 7.8.2). Четыре варианта управления и верификации представлены в табл. 3.28.

Вариант оценки и верификации	Подход к оценке энергосбережения	Затраты на оценку
Вариант A: Физическая оценка изменений в составе и функционировании оборудования с целью проверки и обеспечения соответствия спецификациям. Основные характеристики системы (например, мощность осветительных устройств) определяются на основе выборочных или краткосрочных измерений; параметры эксплуатации системы (например, время работы осветительных устройств) могут определяться на основе анализа исторических данных или выборочных/краткосрочных измерений. Характеристики системы и эксплуатационные параметры измеряются или проверяются на ежегодной основе.	Инженерные расчеты на основе выборочных или краткосрочных измерений, компьютерного моделирования и/или исторических данных.	Зависит от количества точек измерения. Около 15% затрат на реализацию проекта
Вариант B: Объемы энергосбережения определяются после завершения проекта на основе краткосрочных или постоянных измерений, выполняемых на протяжении всего срока контракта на уровне всей системы или отдельных устройств. Измеряются как характеристики системы, так и эксплуатационные параметры	Инженерные расчеты на основе результатов измерений	Зависит от количества и типа систем, для которых производились измерения, а также периода анализа/измерений. Как правило, 3–10% затрат на реализацию проекта
Вариант C: После завершения проекта объемы энергосбережения для отдельного здания или предприятия в целом определяются на основе сравнения энергопотребления за данный год с историческими данными по энергопотреблению (по данным приборного учета)	Анализ данных приборного учета с использованием различных методов – от простого сравнения до многомерного регрессионного анализа (например, почасовых или ежемесячных данных)	Зависит от количества анализируемых параметров и сложности анализа. Как правило, 1–10% затрат на реализацию проекта
Вариант D: Объемы энергосбережения оцениваются на основе моделирования компонентов предприятия и/или предприятия в целом	Создание энергетических моделей; калибровка моделей на основе почасовых или ежемесячных данных приборного учета и/или измерений фактического энергопотребления	Зависит от количества и сложности анализируемых систем. Как правило, 3–10% затрат на реализацию проекта

Таблица 3.28: Подходы к оценке объемов энергосбережения в результате проектов по повышению энергоэффективности систем освещения

Выше приведен единственный раздел Протокола оценки и верификации, применимый к системам освещения. Полный текст рекомендаций доступен через Интернет по адресу http://www.evo-world.org/.

Применимость

Такие методы, как определение потребностей в освещении для каждой функции или участка, планирование мероприятий по оптимизации использования естественного освещения, выбор светильников и ламп в соответствии с требованиями к освещению и управление системам освещения применимы ко всем установкам КПКЗ. Другие методы, например, проектирование зданий и интерьеров для оптимального использования естественного освещения, применимы только при строительстве новых или значительной модернизации существующих объектов.

Экономические аспекты

При осуществлении проектов в рамах инициативы Green Light используются проверенные технологии, продукция и услуги, позволяющие снизить общее энергопотребление системы освещения на 30–50% и обеспечивающие коэффициент окупаемости инвестиций в диапазоне от 20 до 50%.

Для оценки периода окупаемости могут использоваться методики, предлагаемые в Справочном документе по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Мотивы внедрения

- повышение уровня охраны труда на рабочих местах;
- энергосбережение.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[209, Wikipedia, , 210, EC, 2000] [210, EC, 2000, 238, Hawken, 2000, 242, DiLouie, 2006]

[211, ADEME, 1997, 212, BRE_UK, 1995, 213, EC, , 214, EC, 1996, 215, Initiatives, 1993, 216, Initiatives, 1995, 217, Piemonte, 2001, 218, Association, 1997, 219, IDAE]

3.11. Процессы сушки, сепарации и концентрирования

Введение

Сушка представляет собой энергоемкий процесс. В данном разделе она рассматривается вместе с процессами сепарации и концентрирования, поскольку на производстве эти процессы часто взаимосвязаны и их продуманное сочетание может способствовать повышению энергоэффективности.

В процессе сушки тепло может передаваться за счет конвекции (конвекционная сушка), теплопроводности (контактная сушка), с помощью различных видов электромагнитного излучения – инфракрасного, высокочастотного и микроволнового (радиационная сушка), а также сочетания перечисленных методов. В промышленности чаще всего применяются конвекционные сушилки, в которых к качестве теплоносителя (сушильного агента) используется горячий воздух или дымовые газы.

Сепарация представляет собой процесс разделения материального потока смешанного состава на два или более потоков различного состава (среди них могут быть потоки как продукции, так и отходов). Поэтому технология сепарации должна обеспечивать выделение желаемой продукции либо из смеси различных веществ, либо из смеси различных фаз или фракций одного и того же вещества. Сепарация может использоваться и для разделения потока отходов (см. Справочный документ по очистке сточных вод и отходящих газов в химической промышленности).

Процесс сепарации осуществляется в сепарационном устройстве (сепараторе), где под действием разделяющего фактора создается градиент сепарации. В настоящем разделе приводится

классификация различных методов сепарации на основе принципа сепарации и используемого фактора разделения.

Целью данного раздела не является исчерпывающая характеристика всех методов сепарации; приоритетное внимание уделяется тем аспектам сепарации, с которыми связан значительный потенциал энергосбережения. Дополнительная информация по конкретным методам приведена в источниках, перечисленных в разделе «Справочная информация».

Классификация методов сепарации:

- способ поступления энергии в систему:

  возможна классификация методов сепарации на основе типа энергии, подводимой к системе:

  - тепло (выпаривание, сублимация, сушка);
  - излучение;
  - давление (механическая рекомпрессия пара);
  - электроэнергия (элктрофильтрация газов, электродиализ);
  - магнетизм (использование магнитов) (см. ферромагнитные и неферромагнитные материалы, наведенные поля для неметаллов);
  - кинетическая (сепарация в центрифуге) или потенциальная (отстаивание) энергия.
- способ отведения энергии от системы:
  - охлаждение или замораживание (конденсация, кристаллизация и т.п.)
- механические барьеры:
  - фильтры или мембраны (нано-, ультра- и микрофильтрация, проникновение газа, просеивание);
- прочее:
  - физико-химические взаимодействия (растворение/выпадение осадка, адсорбция, флотация, химические реакции);
  - различия в других физических или химических свойствах веществ, например, плотности, поляризации и т.п.

Возможно сочетание перечисленных выше принципов или факторов разделения, результатом чего являются «гибридные» методы сепарации. В качестве примеров могут быть упомянуты:

- дистилляция (выпаривание и конденсация);
- первапорация (испарение через мембрану);
- электродиализ (электрическое поле и ионообменная мембрана);
- сепарация в циклонах (кинетическая и потенциальная энергия).

3.11.1. Выбор оптимальной технологии или сочетания технологий

Общая характеристика

Во многих случаях задача выбора технологии сепарации имеет несколько решений. Выбор определяется характером исходного материала, требованиями к выходным потокам, а также ограничениями, связанными с особенностями конкретного предприятия и отрасли. Определенные ограничения могут быть связаны и с самой технологией. Сепарация может осуществляться в несколько ступеней, причем на различных ступенях могут использоваться как разные технологии, так и один и тот же процесс.

Экологические преимущества

Минимизация энергопотребления. Значительный потенциал энергосбережения связан с ситуациями, где возможно использование двух или более ступеней сепарации или предварительная подготовка материала (см. «Примеры» ниже).

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

При выборе оптимальной технологии сепарации следует учитывать перечисленные ниже факторы, имеющие отношение к исходному материалу, выходным потокам и особенностям процесса:

- исходный материал:
  - состояние, форма:
    - жидкий;
    - пастообразный;
    - зернистый, порошкообразный;
    - волокна;
    - пластины;
    - полосы;
    - уже имеет необходимую форму;
  - механическая прочность/хрупкость;
  - термочувствительность;
  - содержание влаги;
  - расход/количество, которое должно быть обработано;
  - если применимо:
    - форма и размер;
    - размер капель
    - вязкость
- требования к конечной продукции:
  - содержание влаги;
  - форма и размер;
  - качество:
    - цвет;
    - степень окисления;
    - вкус;
- характеристики процесса:
  - непрерывный или периодический (отдельные партии);
  - источники энергии:
    - ископаемое топливо (природный газ, мазут, уголь и т.д.)
    - электроэнергия;
    - возобновляемые источники (солнечная энергия, древесное топливо и т.п.);
  - механизм теплопередачи:
    - конвекция (горячий воздух, перегретый пар);
    - теплопроводность;
    - электромагнитное излучение (инфракрасное, микроволны, излучение высокой частоты);
  - максимальная температура;
  - производительность;
  - время пребывания в условиях процесса;
  - механическое воздействие на продукцию.

Для определения наилучшего решения с технологической, экономической, энергетической и экологической точки зрения необходим систематический анализ вариантов. При этом должны быть четко определены исходные данные для анализа:

- характеристики исходного материала и выходных потоков, включая массу/расход. Важным параметром является содержание влаги в продукции: как правило, удаление последних процентов влажности требует значительных усилий и, как следствие, энергозатрат;
- перечень всех энергоресурсов, имеющихся на предприятии (электроэнергия, холод, сжатый воздух, пар, другие холодные и горячие ресурсы), с указанием их характеристик;
- имеющиеся площади, на которых может быть установлено оборудование;
- возможные методы предварительной подготовки материала;
- потенциал процесса с точки зрения утилизации тепла;
- имеющееся высокоэффективное энергетическое оборудование и дополнительные источники энергии (высокоэффективные двигатели, утилизация отходящего тепла на предприятии и т.д.).

Должен быть выполнен сравнительный анализ технологических, экономических, энергетических и экологических аспектов каждого варианта:

- в пределах одних и тех же границ, включая системы энергоресурсов, очистку сточных вод и т.п.;
- с учетом воздействий на все компоненты окружающей среды (воздух, вода, размещение отходов и т.д.);
- с учетом необходимости технического обслуживания и обеспечения безопасности системы;
- с учетом количественных оценок затрат времени и средств на обучение операторов системы.

Удельное энергопотребление некоторых процессов сепарации для различных размеров фрагментов (частиц) показано на рис. 3.44.

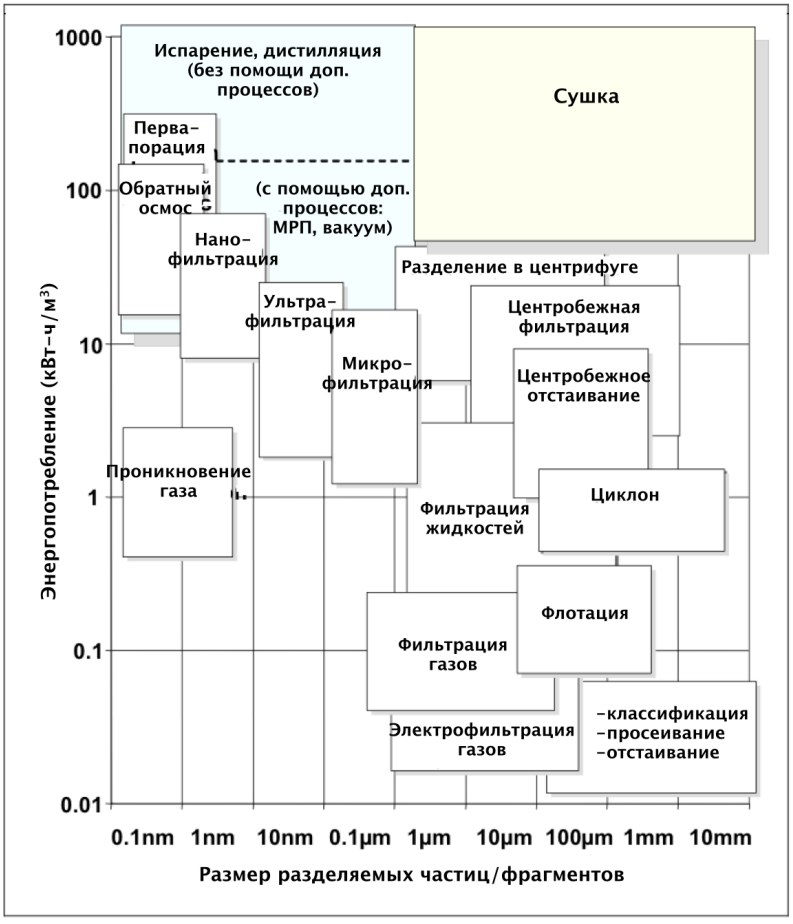


Рисунок 3.44: Энергопотребление некоторых процессов разделения

[248, ADEME, 2007]

Применимость

Выявление оптимальной технологии на основе систематического сравнительного анализа применимо в любых ситуациях. Как правило, решение об установке нового оборудования принимается на основе анализа затрат и выгод и/или исходя из соображений повышения качества продукции или производительности.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

- снижение затрат;
- повышение качества продукции;
- увеличение производительности технологического процесса.

Примеры

При сушке жидкостей (например, распылением) в качестве предварительного этапа может использоваться мембранная фильтрация (например, обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация или микрофильтрация). Процесс мембранной фильтрации, энергопотребление которого на 1–3 порядка величины меньше, чем у сушки выпариванием, может применяться для подготовки исходного материала к дальнейшей сушке. Например, при производстве сухого молока перед сушкой распылением содержание влаги в молоке может быть доведено до 76% при помощи мембранной фильтрации.

Справочная информация

[201, Dresch_ADEME, 2006]

3.11.2. Механические процессы

Общая характеристика

Энергопотребление механических процессов сепарации (в т.ч. отделения жидкости) может быть на несколько порядков величины меньше по сравнению с энергопотреблением процессов термической сушки (см. рис. 3.44).

В той степени, в какой это позволяет исходный материал, рекомендуется использовать преимущественно механические процессы для подготовки материалов к дальнейшей сушке. Это позволяет существенно сократить энергопотребление всего процесса. Предварительная подготовка при помощи механических процессов позволяет довести содержание влаги (отношение массы жидкости, которая должна быть удалена, к сухой массе вещества) в большей части материалов, подлежащих сушке, до величины 40–70%. На практике применимость механических процессов может быть ограничена вследствие механических нагрузок на материал, превышающих допустимые пределы, и/или слишком длительного времени, необходимого для естественного обезвоживания материала.

В некоторых случаях применение механических процессов рекомендуется также в качестве предварительного этапа перед тепловой обработкой материала. Так, подготовительным этапом при высушивании жидкостей и суспензий (например, методом сушки распылением) может быть мембранная фильтрация (обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация или микрофильтрация). Например, при производстве сухого молока перед сушкой распылением содержание влаги в молоке может быть доведено до 76% при помощи мембранной фильтрации.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействия на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Данных не предоставлено.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[202, IFTS_CMI, 1999]

3.11.3. Методы термической сушки

3.11.3.1. Расчет энергозатрат и КПД

Общая характеристика

Сушка широко используется в различных отраслях промышленности. В процессе сушки сначала весь влажный материал нагревается до температуры испарения воды, а затем вода испаряется при постоянной температуре.

$$Q_{th} = (c_G m_G + c_W m_W)\Delta T + m_D \Delta H_V \quad \textbf{Уравнение 3.13}$$

где:

Q_{th} – полезные затраты тепла, кВт;

m_G, m_W – массовый расход сухого вещества и подлежащей удалению воды соответственно, кг/с;

ΔT – температура нагрева, K;

m_D – количество воды, испаряющейся в единицу времени, кг/с;

c_G, c_W – удельная теплоемкость сухого вещества и воды соответственно, кДж/кг·K;

ΔH_V – теплота испарения воды при соответствующей температуре испарения (примерно 2300 кДж/кг при 100°C).

Как правило, испарившаяся вода удаляется из сушильной камеры с потоком воздуха. Затраты энергии на нагрев проходящего через сушильную камеру воздуха Q_{pd} (эта величина не включает полезные затраты тепла Q_{th}) могут быть рассчитаны согласно уравнению 3.14:

$$Q_{pd} = V c_{pd} \Delta T_{pd} \quad \textbf{Уравнение 3.14}$$

где:

Q_{pd} – затраты тепловой энергии на нагрев воздуха, проходящего через сушильную камеру, кВт (потери тепла с выбросами);

V – расход воздуха, проходящего через сушильную камеру, м^3/ч;

c_{pd} – удельная теплоемкость воздуха (примерно 1,2 кДж/м^3·K при температуре 20°C и давлении 1013 мбар);

ΔT_{pd} – разница между температурами свежего воздуха и воздуха, выбрасываемого из сушильной камеры, K.

Помимо указанных затрат тепла должны быть учтены и другие потери, например, потери тепла через стенки сушильной камеры. Эти потери Q_{hp} соответствуют энергопотреблению незагруженной сушильной системы, функционирующей при обычной рабочей температуре в

режиме рециркуляции воздуха (т.е., без выбросов нагретого воздуха в атмосферу). Таким образом, общее энергопотребление системы может быть выражено уравнением 3.15:

$$Q_I = Q_{th} + Q_{pd} + Q_{hp} \qquad \textbf{Уравнение 3.15}$$

где:

Q_I – общее энергопотребление сушильной системы;

Q_{hp} – энергопотребление незагруженной системы.

Для приведения энергопотребления к затратам первичной энергии необходимо учесть КПД сжигания топлива, зависящий от особенностей конкретного процесса и оборудования. Таким образом, общие затраты первичной энергии на процесс сушки Q_{total} описываются уравнением 3.16:

$$Q_{total} = Q_I / \eta_{fuel} \qquad \textbf{Уравнение 3.16}$$

где:

Q_{total} – общее потребление первичной энергии в процессе сушки;

η_{fuel} – тепловой КПД процесса сжигания топлива.

На рис. 3.45 показаны диапазоны удельного потребления вторичной энергии на килограмм испаряемой воды для различных типов сушилок, функционирующих при максимальной загрузке и максимальной эффективности испарения. Для целей данного сопоставления было принято предположение, что источником тепла для конвективных сушилок служат электронагреватели.

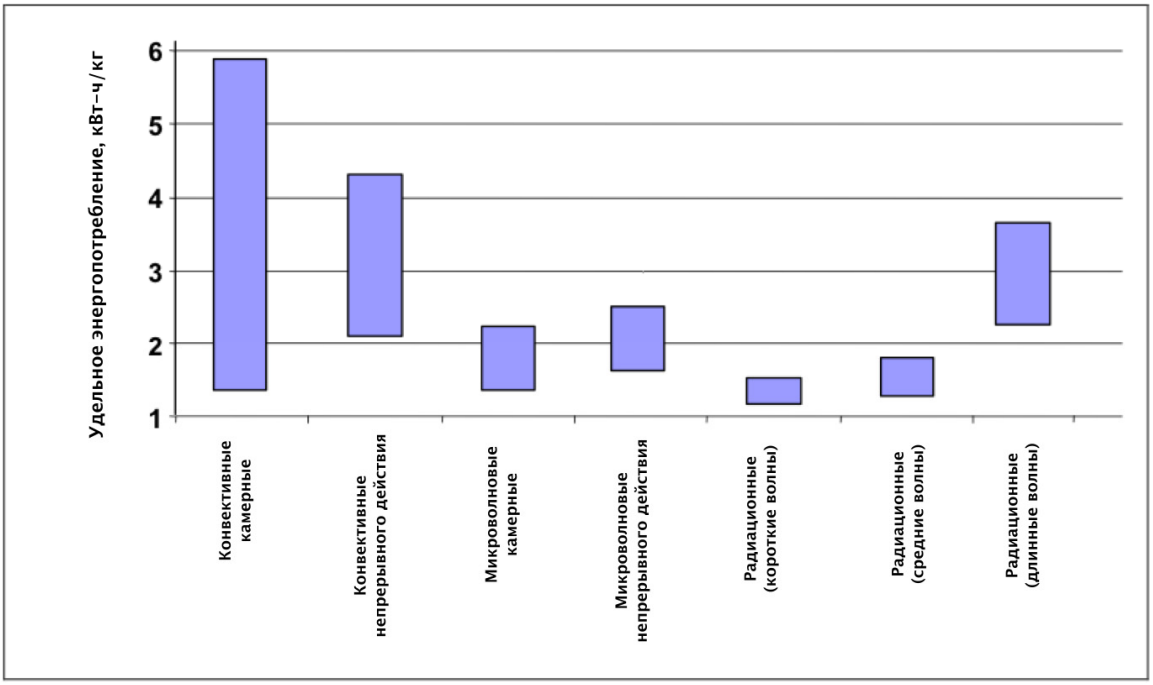


Рисунок 3.45: Диапазон удельного энергопотребления для различных видов сушилок при испарении воды

[26, Neisecke, 2003]

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействия на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Как отмечено в разделе 3.11.1, применение процесса механической сепарации (отделения воды) в качестве предварительного этапа перед сушкой во многих случаях может способствовать снижению энергопотребления.

Оптимизация влажности воздуха в сушилках является важнейшим фактором, способным внести значительный вклад в сокращение энергопотребления в процессе сушки.

Применимость

Данных не предоставлено.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[26, Neisecke, 2003, 203, ADEME, 2000]

3.11.3.2. Конвективная сушка

Общая характеристика

При конвективной сушке основным механизмом теплопередачи является конвекция. Сушильный агент – горячий или теплый газ, как правило, воздух (возможно, в смеси с горячими дымовыми газами) или перегретый пар (см. раздел 3.11.3.4) – передает тепло высушиваемым материалам и деталям, которые могут находиться, например, во вращающемся барабане или на подвеске.

К типичным конструкциям сушильных систем относятся:

- системы, предусматривающие движение высушиваемых материалов, обдуваемых горячими газами:
  - например, барабанные и туннельные сушилки, конвейерные сушильные печи, сушилки со спиральным конвейером, лоточные сушилки;
- системы, в которых горячие газы обдувают неподвижные твердые материалы или детали:
  - например, сушилки периодического действия или сушилки со стационарными подвесками;
- системы, предусматривающие интенсивное перемешивание высушиваемых материалов:
  - например, сушилки с кипящим слоем или аэрофонтанные сушилки.

Экологические преимущества

Конвективный нагрев, в частности, горячим воздухом, нагреваемым за счет непосредственного сжигания топлива, позволяет избежать многих потерь тепла, имеющих место в системах с косвенным нагревом, котлами, паропроводами и т.п.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействий не обнаружено.

Производственная информация

Высушиваемые материалы и удаляемые жидкости должны быть совместимы с сушильной системой и не создавать рисков при ее использовании. Например, при сушке горячими дымовыми газами, получаемыми за счет непосредственного сжигания природного газа, материалы и удаляемые жидкости не должны быть легковоспламеняющимися.

Применимость

Широко применяется.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

- сокращение затрат;

- эффективное использование производственных площадей;
- простота (например, сушка горячим воздухом позволяет снизить потребности в производстве пара).

Примеры

Конвективная сушка широко применяется во многих отраслях. В частности, барабанные сушилки могут использоваться при производстве органических соединений, удобрений и пищевых продуктов, а также для сушки песка. Конвективные сушилки могут также использоваться в составе линий по обработке металлических поверхностей. При этом сушилка является последним компонентом подвесочной линии, и ее размер соответствует размеру ранее расположенных рабочих и промывочных ванн. Подвески с деталями могут опускаться в сушилку точно так же, как они опускаются в эти ванны. Сушилка может быть оборудована автоматически открывающейся крышкой.

Справочная информация

[263, Tempany, 2008, 266, Ullmann's, 2000]

3.11.3.3. Контактная сушка

Общая характеристика

При контактной сушке теплопередача осуществляется за счет теплопроводности. Тепло передается высушиваемому материалу от теплоносителя через твердую стенку. Материал может быть неподвижным или постоянно перемещаться вдоль поверхности или от одной поверхности к другой.

К типичным системам контактной сушки относятся:

- сушильные цилиндры, используемые для сушки полос плоских материалов, например, бумаги, картона или текстиля. Влажная продукция проходит вдоль вращающихся цилиндров, нагреваемых изнутри, как правило, при помощи пара;
- вальцовые сушилки используются для высушивания пастообразных материалов и вязких жидкостей, например, растворов органических и неорганических соединений. Материал тонким слоем выливается на поверхность вращающегося нагретого вальца. Образующееся в результате сушки твердое вещество удаляется с поверхности при помощи ножа-скребка, образуя пленку, хлопья или порошок;
- для сушки пастообразных материалов могут также использоваться:
    - вальцовая сушилка с рифленой поверхностью барабана (формующая небольшие порции материала для дальнейшей сушки);
    - шнековая сушилка, основу конструкции которой составляют один или два шнека, вращающиеся в желобе. Шнеки подогреваются горячей водой, насыщенным паром, горячим маслом и т.д.;
    - гребковая сушилка, представляющая собой контактную сушилку с мешалкой. Кожух сушилки, главный вал мешалки и другие ее элементы подогреваются паром, горячей водой или горячим маслом;
- Для сушки зернистых материалов могут использоваться:
    - сушилки с вращающимся барабаном, в которых либо нагреваемые изнутри трубы проходят внутри барабана, либо высушиваемый материал движется по трубкам, нагреваемым снаружи (сушилка трубчатого типа). Эти сушилки характеризуются невысокой скоростью воздуха, что позволяет использовать их для сушки пылящих материалов;
    - сушилки с винтовым конвейером, в которых винт вращается внутри нагреваемого кожуха;

- сушилки с конической мешалкой, которая вращается внутри нагреваемого снаружи воронкообразного кожуха;
- лоточные сушилки с подогреваемыми лотками;
- сушилки со спиральными трубками, в которых материал, транспортируемый пневматическим способом, находится в контакте с нагретой поверхностью трубок лишь в течение короткого времени. Такие сушилки могут быть герметичными и использоваться для удаления органического растворителя с последующей его регенерацией.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Как правило, контактные сушилки потребляют больше энергии, чем конвективные, вследствие потерь при теплопередаче, которая состоит из двух этапов: передача тепла от теплоносителя к поверхности и от поверхности к материалу.

Производственная информация

См. «Общая характеристика».

Применимость

Сушилки данного типа могут применяться для выполнения специализированных функций, например, удаления органических растворителей.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Применения, в которых использование конвективных сушилок невозможно или существуют другие ограничения.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[264, Tempany, 2008, 266, Ullmann's, 2000]

3.11.3.4. Перегретый пар

Общая характеристика

Перегретый пар представляет собой пар, нагретый до температуры, превышающей температуру насыщения (точку кипения воды) при данном давлении. Перегретый пар не может находиться в контакте с водой и всегда является сухим; его поведение сходно с поведением обычного газа. Перегретый пар может использоваться в качестве сушильного агента вместо горячего воздуха в любых конвективных сушилках, например, барабанных, распылительных, с кипящим и фонтанирующим слоем и т.д.

Экологические преимущества

При использовании перегретого пара лимитирующим фактором является только теплопередача, но не перенос вещества (воды). Это обеспечивает лучшую кинетику сушки. Сушилки, использующие перегретый пар, имеют меньший размер и характеризуются меньшими потерями тепла. Более того, энергия (скрытое тепло), содержащаяся в отводимой от материала воде, может быть легко утилизирована при помощи механической рекомпрессии пара (МРП) или использована в другом процессе, что способствует повышению энергоэффективности.

Перегретый пар является более удобным сушильным агентом при удалении летучих органических соединений (ЛОС) вследствие меньшего объема отходящих газов. Органические соединения могут быть легко регенерированы.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Материалы, чувствительные к температуре, могут пострадать от чрезмерного нагрева.

Производственная информация

Энергопотребление при сушке перегретым паром составляет 670 кВт·ч на тонну испаряемой воды в отсутствие утилизации тепла и 170–340 кВт·ч/т при использовании утилизации тепла (например, МРП).

Использование перегретого пара облегчает управление процессом, поскольку конечное содержание влаги в продукции и кинетика сушки могут регулироваться при помощи температуры пара. Исключение из процесса воздуха снижает риски воспламенения и взрыва.

Применимость

Любая конвективная сушилка может быть переоборудована для использования перегретого пара в качестве сушильного агента. Должны быть проведены испытания для того, чтобы убедиться в надлежащем качестве сушки; кроме того, необходимы экономические расчеты.

Экономические аспекты

Как правило, объем необходимых инвестиций выше, особенно при использовании МРП для утилизации энергии.

Мотивы внедрения

Основным мотивом внедрения является энергосбережение. Во многих случаях сообщается и о повышении качества продукции, в особенности, в агропищевом секторе (более естественный цвет продуктов, меньшая окисленность и т.п.).

Примеры

- предприятие Sucrerie Lesaffre (Нанжи, Франция): сушка свекловичного жома перегретым паром;
- возможные применения: сушка шламов, свекловичного жома, люцерны, детергентов, технической керамики, древесного топлива и т.д.

Справочная информация

[208, Ali, 1996]

3.11.3.5. Утилизация тепла в процессах сушки

Общая характеристика

Поскольку сушка является высокотемпературным процессом, с ней, как правило, связан потенциал утилизации отходящего тепла:

- либо непосредственно, при использовании горячего воздуха в качестве сушильного агента при конвективной сушке: смешивание отходящего воздуха со свежим воздухом перед горелкой или, в случае значительного содержания примесей (пыли, влаги и т.д.) в отходящем воздухе, использование теплообменника (см. раздел 3.3.1.) для предварительного подогрева высушиваемого материала или сушильного агента;
- либо косвенным образом, посредством механической рекомпрессии отходящего пара (см. раздел 3.3.2), в особенности, если сушильным агентом является перегретый пар (см. раздел 3.11.3.4).

В данном разделе рассматривается только «непосредственная» утилизация тепла.

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Предварительный подогрев поступающего в горелку воздуха за счет утилизации тепла может нарушить процесс сушки, влияя на такие параметры, как температура и содержание влаги. При утилизации тепла без теплообменника возможно загрязнение. Может потребоваться регулирование процесса для обеспечения требуемой температуры сушки.

Производственная информация

- объемы энергосбережения оказываются больше при низкой температуре наружного воздуха (например, в зимний период);
- следует ожидать энергосбережения в объеме, как минимум, 5%.

Применимость

Данный метод может применяться практически с любыми системами непрерывной конвективной сушки, использующими горячий воздух (туннельные и барабанные сушилки, конвейерные печи и т.д.). Следует уделить внимание регулировке горелки и подбору оптимальных параметров различных компонентов: вентилятора, труб (диаметр), регулирующих клапанов и теплообменника (если таковой используется). Теплообменные поверхности должны быть выполнены из нержавеющей стали. Дымовые газы от сжигания мазута, если таковые используются для сушки, содержат серу и SO_2, конденсация которых может привести к повреждению теплообменника.

Экономические аспекты

Период окупаемости может существенно варьировать в зависимости от стоимости энергии, мощности сушилки и времени ее работы. При расчетах всегда полезно рассмотреть сценарий, предполагающий рост цен на энергоносители.

Мотивы внедрения

Энергосбережение и соответствующее сокращение затрат.

Примеры

Сушка свекловичного жома (Камбрэ, Франция): утилизация тепла отходящих газов.

Справочная информация

[203, ADEME, 2000]

3.11.3.6. Выпаривание в сочетании с механической рекомпрессией пара или тепловым насосом

Концентрирование посредством выпаривания в сочетании в МРП (механической рекомпрессией пара) или тепловым насосом является эффективным методом обращения со сточными водами. В частности, этот подход позволяет с относительно небольшими затратами существенно снизить объем направляемых на очистку сточных вод, одновременно обеспечив регенерацию воды для дальнейшего использования.

Общая характеристика

Для испарения тонны воды требуется 700–800 кВт·ч энергии. Эту величину можно снизить, используя различные методы утилизации тепла, включая тепловые насосы, механическую рекомпрессию пара (МРП) (см. раздел 3.3.2) и многоцелевые выпарные установки с термокомпрессией вторичного пара.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Концентрирование потоков сточных вод может потребовать изменения методов очистки сточных вод и обращения с ними (например, может оказаться невозможным сброс в водные объекты).

Производственная информация

Удельное энергопотребление для нескольких типов испарителей представлено в табл. 3.29.

Тип испарителя	Удельное энергопотребление[1, 2, 3]	
	кг пара/твв[1] (кВт·ч)	кВт·ч электроэнергии/твв[1]
Одноступенчатый	1200 (960)	10
Двухступенчатый	650 (520)	5
Одноступенчатый с термокомпрессией	450–550 (400)	5
Трехступенчатый	350–450 (320)	5
Шестиступенчатый с термокомпрессией	115–140 (100)	5
Одноступенчатый с МРП	0–20 (8)	15–30
Двухступенчатый с МРП	0–20 (8)	10–20
Тепловой насос		
Примечания: 1. твв: тонна выпариваемой воды 2. Средние значения для различных концентраций материалов 3. В последнем столбце представлено потребление энергии вспомогательными устройствами (насосами, градирнями и т.д.)		

Таблица 3.29: Типы испарителей и удельное энергопотребление

Применимость

Выбор технологии зависит от характера концентрируемых потоков и требований к процессу концентрирования. Могут потребоваться испытания.

Экономические аспекты

Зависят от конкретных условий.

Мотивы внедрения

- сокращение затрат;
- увеличение производительности и/или повышение качества продукции.

Примеры

Предприятие ZF Lemforder Mecacentre производит различные детали для автомобильной промышленности (подшипники подвесок, рулевые колонки и т.п.). В 1998 г., в процессе подготовки к сертификации на соответствие стандарту ISO 14001, предприятие установило испаритель с МРП для концентрирования сточных вод от промывки деталей. Установленное оборудование обеспечивает концентрирование до 120 л сточных вод в час и ежемесячную регенерацию 20–25 $м^3$ воды, которая может быть использована на производстве. Потребляемая мощность составляет 7,2 кВт. После концентрирования загрязненные сточные воды направляются на соответствующие очистные сооружения.

- размер инвестиций: 91 469 евро;
- ежегодная экономия: 76 224 евро;
- период окупаемости: 14 мес.

Справочная информация

[26,Neisecke, 2003, 197, Wikipedia, 201, Dresch_ADEME, 2006] [243, R&D, 2002]

3.11.3.7. Оптимизация теплоизоляции сушильных систем

Общая характеристика

Как и в случае любого нагреваемого оборудования, потери тепла могут быть снижены за счет теплоизоляции компонентов сушильной системы, включая стенки сушильной камеры, паропроводов и конденсатопроводов (см. также раздел 3.2.11). Оптимальные тип и толщина изоляции зависят от ряда характеристик системы, включая рабочую температуру, высушиваемый материал, удаляемую жидкость, а также степень загрязненности отводимых паров (например, парами кислот).

Теплоизоляция нуждается в обслуживании и своевременной замене, поскольку со временем ее состояние может ухудшаться вследствие охрупчивания, механических повреждений, вредного действия влаги (например, вследствие конденсации водяного пара или утечек пара из системы) или контакта с агрессивными химическими веществами. Поврежденная теплоизоляция может выявляться при помощи визуального осмотра или тепловизора (см. раздел 2.10.1).

Экологические преимущества

Энергосбережение.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не выявлено.

Производственная информация

Там, где возможен контакт персонала с горячими поверхностями, рекомендуется принять меры к тому. чтобы максимальная температура этих поверхностей не превышала 50°C.

Теплоизоляция может скрывать признаки утечек или коррозии, поэтому необходимы периодические проверки с целью выявления этих признаков.

Применимость

В рамках проекта по теплоизоляции крупной сушильной системы или ремонта производственного объекта.

Экономические аспекты

Зависят от конкретных условий.

Мотивы внедрения

Сокращение затрат, повышение уровня охраны труда и производственной безопасности.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

[265, Tempany, 2008, 268, Whittaker, 2003]

www.pip.org

3.11.4. Радиационная сушка

Общая характеристика

При использовании методов радиационной сушки энергия передается при помощи электромагнитного излучения различных спектральных диапазонов – инфракрасного излучения (ИК), высокочастотного излучения (ВЧ) и микроволн (МВ). Следует подчеркнуть различие между процессами сушки и вулканизации: в процессе сушки молекулы растворителя приобретают энергию, достаточную для испарения, тогда как при вулканизации энергия, получаемая молекулами, используется для полимеризации или других химических реакций. Вопросы сушки и вулканизации поверхностей обсуждаются в Справочном документе по обработке поверхностей при помощи органических растворителей.

Энергия электромагнитного излучения применяется для нагрева материалов во многих технологических процессах и, в частности, может использоваться для сушки. Радиационная сушка может использоваться как в качестве единственного метода сушки, так и в сочетании с конвективными или контактными методами.

Экологические преимущества

Энергия электромагнитного излучения имеет ряд особенностей, обуславливающих эффективность ее применения в некоторых случаях:

- непосредственная передача энергии. Электромагнитная энергия может передаваться непосредственно от источника к материалу без использования каких-либо промежуточных

сред. Это обеспечивает оптимальные условия теплопередачи, позволяя, в частности, избежать потерь тепла с сушильным агентом, характерных для конвективных систем. В результате может быть достигнуто значительное энергосбережение. Например, при конвективной сушке окрашенных поверхностей около 80% потребляемой энергии теряется с отходящими газами;

- высокая плотность энергии. При использовании электромагнитного излучения достигается более высокая поверхностная (ИК) или объемная (ВЧ, МВ) плотность энергии, чем при использовании традиционных технологий, например, конвективной сушки горячим воздухом. Это сокращает продолжительность сушки и позволяет использовать указанные методы для сушки материалов, требующих значительных энергозатрат, например, некоторых видов красок;
- возможность концентрации энергии. Энергия может быть сконцентрирована на нужной части высушиваемой продукции;
- гибкость управления. Радиационные методы сушки характеризуются незначительной тепловой инерцией и допускают варьирование мощности в широком диапазоне. Это позволяет гибко управлять процессом сушки, оптимизируя энергосбережение и добиваясь высокого качества продукции.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Как правило, при радиационной сушке расход отходящего воздуха значительно ниже, поскольку воздух в данном случае не является теплоносителем и используется лишь для удаления паров воды и других растворителей. Поэтому очистка отходящих газов, если таковая применяется, требует меньших усилий и затрат.

Дополнительные преимущества, характерные для инфракрасной сушки, включают:

- непосредственный нагрев: сокращение выбросов горячего воздуха и связанное с этим энергосбережение; отсутствие или ограниченный масштаб транспортировки горячих жидкостей;
- меньшие размеры оборудования;
- простота управления;
- возможность установки на существующих предприятиях.

Дополнительные преимущества, характерные для микроволновой и высокочастотной сушки, включают:

- непосредственный нагрев: сокращение выбросов горячего воздуха и связанное с этим энергосбережение; отсутствие или ограниченный масштаб транспортировки горячих жидкостей;
- объемный нагрев, способствующий ускорению сушки и снижению потерь;
- избирательный нагрев, причем вода нагревается особенно интенсивно;
- равномерный прогрев в тех случаях, когда размер продукции совместим с длиной волны;
- эффективная теплопередача.

Вместе с тем, избирательный нагрев неоднородных материалов может привести к неравномерному высушиванию и, как следствие, снижению качества продукции.

Некоторые недостатки ИК-сушки:

- больший объем необходимых инвестиций (20–30%);
- применима, главным образом, к плоской продукции или продукции, имеющей простую геометрическую форму;

- во многих случаях не относится к числу приоритетных вариантов, рассматриваемых проектировщиками.

Некоторые недостатки ВЧ- и МВ-сушки:

- больший объем необходимых инвестиций (20–30%);
- во многих случаях не относится к числу приоритетных вариантов, рассматриваемых проектировщиками.

Применимость

Радиационные технологии сушки (прежде всего, ИК) могут внедряться на существующих предприятиях, приводя к повышению производительности. Часто они используются в сочетании с конвективными или контактными методами.

Несмотря на свои преимущества (быстрота сушки, качество конечной продукции, энергоэффективность), радиационные технологии сушки пока не получили широкого распространения в промышленности. Однако в последнее время связанный с ними потенциал энергосбережения вызывает все больший интерес.

ИК-технологии могут использоваться для:

- сушки и вулканизации лакокрасочных покрытий;
- сушки бумаги и картона, предварительной сушки текстильной продукции;
- сушка порошкообразных материалов в химической промышленности и производстве пластмасс.

ВЧ-технологии могут применяться для сушки:

- массивной (монолитной) продукции, например, больших катушек в текстильной промышленности или керамических изделий;
- порошкообразных материалов в химической промышленности.

МВ-технологии могут применяться для сушки:

- массивной (монолитной) продукции (древесины, продукции агропищевой отрасли), а также плоской продукции;
- продукции химической и фармацевтической промышленности (в условиях вакуума).

Экономические аспекты

Как правило, необходим больший объем инвестиций (на 20 – 30 %), чем при внедрении традиционных методов сушки.

Мотивы внедрения

Радиационные системы сушки отличаются компактностью, поэтому одним из мотивов может быть недостаток производственных площадей. Кроме того, радиационные системы (прежде всего, ИК) могут способствовать повышению производительности существующих производственных линий.

Примеры

Biotex – французское предприятие по производству латексных подушек. Сушка подушек сопряжена со значительными трудностями, а содержание влаги в готовой продукции не должно превышать 1%. Имевшаяся на предприятии конвективная сушилка туннельного типа не обеспечивала необходимого качества сушки, потребляя при этом значительное количество энергии. Система ВЧ-сушки, установленная после туннельной сушилки позволила обеспечить требуемое качество продукции и сократить время сушки в восемь раз, одновременно снизив энергозатраты на сушку одной подушки на 41 % (первичная энергия). Содержание влаги в подушках, покидающих туннельную сушилку, составляет 19–45%; в ВЧ-сушилке эта величина доводится до 1%. Период окупаемости инвестиций составил 4 года.

Справочная информация

[204, CETIAT, 2002, 205, ADEME, , 206, ADEME, 2002]

3.11.5. Системы автоматизированного управления процессами термической сушки

Общая характеристика

В подавляющем большинстве процессов термической сушки сушилки управляются на основе заранее заданных значений параметров процесса и/или эмпирических ориентиров, часто основанных на опыте конкретного оператора. В качестве параметров управления могут использоваться такие характеристики процесса, как продолжительность сушки, скорость прохождения материала через систему, температура, а также начальное содержание влаги. Содержание влаги в продукции, подвергаемой сушке, может определяться при помощи датчиков влажности, имеющих линейную характеристику, относительно нечувствительных к помехам и отличающихся продолжительным сроком службы. Компьютер может обрабатывать эти данные в реальном времени, сопоставляя их с целевыми значениями, рассчитанными на основе математической модели процесса. Создание такой модели требует точных знаний о процессе сушки, а также наличия специализированного программного обеспечения. Сопоставляя целевые и фактические значения, контроллер принимает решения об изменении тех или иных параметров процесса.

Примеры из различных отраслей промышленности показывают, что внедрение автоматизированных систем управления процессом сушки позволяет снизить энергопотребление на 5–10% по сравнению с традиционным управлением на основе эмпирического опыта.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Данных не предоставлено.

Экономические аспекты

Данных не предоставлено.

Мотивы внедрения

Данных не предоставлено.

Примеры

Данных не предоставлено.

Справочная информация

[207, ADEME, 2000]

4. Наилучшие доступные технологии

4.1. Введение

Для лучшего понимания цели и содержания настоящей главы читателю рекомендуется вновь обратиться к Предисловию, фрагменты которого, наиболее существенные в данном контексте, воспроизводятся ниже:

Из раздела 3 Предисловия, «Значимые нормативно-правовые положения Директивы КПКЗ и определение НДТ»:

Целью Директивы является обеспечение комплексного предотвращения и контроля загрязнения, вызываемого видами производственной деятельности, перечисленными в Приложении I, для обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, включая эффективность использования энергии и рациональное использование природных ресурсов. Основу правовых положений Директивы составляют требования, направленные на обеспечение охраны окружающей среды. В то же время при осуществлении этих положений должны учитываться другие цели Сообщества, в частности, повышение конкурентоспособности промышленности Сообщества и устранение непосредственной связи между экономическим ростом и энергопотреблением, способствующее устойчивому развитию. Дополнительная информация о правовых рамках обеспечения энергоэффективности в контексте положений Директивы приведена в разделе «Область применения».

Говоря более конкретно, Директива предусматривает создание для некоторых промышленных объектов разрешительной системы, требующей как от регулирующих органов, так и от компаний-операторов целостного, комплексного и всестороннего рассмотрения возможного потребления ресурсов и загрязнения окружающей среды в результате деятельности объекта. Общей целью такого комплексного подхода должно быть улучшение качества проектирования, строительства, управления и эксплуатации производственных объектов для обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом. В центре этого подхода лежит установленный статьей 3 общий принцип, согласно которому компании-операторы должны предпринимать все надлежащие меры по предотвращению загрязнения, в частности, путем применения **«наилучших доступных технологий»**, обеспечивая таким образом повышение экологической результативности, в т.ч. и в сфере энергоэффективности.

Понятие «наилучших доступных технологий» определяется в статье 2(12) Директивы.

Кроме того, Приложение IV к Директиве содержит перечень «соображений, которые необходимо принимать во внимание, вообще или в конкретных случаях, при определении наилучших доступных технологий с учетом возможных затрат и выгод, а также принципов предосторожности и предотвращения загрязнения». Этот перечень включает, в частности, информацию, публикуемую Комиссией в соответствии со статьей 17(2) Директивы.

Уполномоченные органы, ответственные за выдачу разрешений, должны принимать во внимание общие принципы, изложенные в Статье 3, при определении условий разрешения. Эти условия должны включать предельные величины выбросов и сбросов, замененные или дополненные, там, где это уместно, эквивалентными параметрами или техническими мерами. Согласно Статье 9(4) Директивы:

[без ущерба для положений Статьи 10 о наилучших доступных технологиях, стандартах качества окружающей среды и соответствии этим стандартам], предельные величины выбросов и сбросов, эквивалентные параметры и технические меры должны основываться на наилучших доступных технологиях, без предписания использовать какие-либо методы или конкретные технологии, но с учетом технических характеристик рассматриваемой установки, ее географического положения и местных условий окружающей среды. Во всех случаях условия разрешения должны предусматривать меры, направленные на сведение к минимуму [количества] загрязняющих веществ, распространяющихся на большие расстояния, или трансграничного загрязнения, а также на обеспечение высокого уровня охраны окружающей среды в целом.

Согласно Статье 11 Директивы, государства – члены ЕС должны создать условия для того, чтобы уполномоченные органы следили за достижениями в области наилучших доступных технологий или получали информацию о них.

Из раздела 6 Предисловия, «Как использовать настоящий документ»:

Настоящий документ предназначен для использования в качестве одного из источников информации при определении НДТ обеспечения энергоэффективности в конкретных случаях. При определении НДТ и основанных на НДТ условий разрешения следует всегда учитывать основную цель Директивы – обеспечение высокого уровня охраны окружающей среды в целом, в том числе за счет повышения энергоэффективности.

В настоящей главе (глава 4), представлены методы, которые считаются совместимыми с НДТ в общем смысле. Целью главы является предоставление общей информации о методах обеспечения энергоэффективности, которая может использоваться в качестве реалистичного ориентира при определении условий разрешения, основанных на НДТ, а также при выработке общеобязательных правил в соответствии со Статьей 9(8). Следует, однако, отметить, что документ не предлагает конкретных нормативов энергоэффективности для использования в разрешениях. Выработка адекватных условий разрешения требует учета таких факторов, специфичных для конкретного объекта, как технические характеристики рассматриваемой установки, ее географическое положение и местные условия окружающей среды. В случае существующих установок необходимо также принимать во внимание техническую и экономическую осуществимость их модернизации. Даже единственная цель обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом часто требует компромисса между различными видами воздействия на окружающую среду, причем конкретный характер такого компромисса часто зависит от местных условий

Наилучшие доступные технологии представленные в настоящей главе, не обязательно применимы для любых установок. С другой стороны, необходимость обеспечения высокого уровня охраны окружающей среды в целом, включая минимизацию загрязнений, распространяющихся на большие расстояния, и трансграничного загрязнения, подразумевает, что условия разрешений не могут формулироваться исключительно на основе местных соображений. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы информация, представленная в настоящем документе, была в полной мере принята во внимание органами, ответственными за выдачу разрешений.

Как следствие комплексного характера подхода и необходимости обеспечить баланс между различными экономическими аспектами и видами воздействия на окружающую среду (см. выше), принципиальные решения об обеспечении энергоэффективности и соотношении этой задачи с другими приоритетами должны рассматриваться на уровне установки как целого. Таким образом, возможны, например, следующие ситуации:

- может оказаться невозможным одновременное обеспечение максимальной энергоэффективности всех видов деятельности и/или систем в пределах установки;
- может оказаться невозможным одновременное обеспечение максимальной общей энергоэффективности и минимального потребления других ресурсов, а также минимального уровня воздействия на окружающую среду (например, снижение выбросов в атмосферу может оказаться невозможным без дополнительных затрат энергии);
- может оказаться целесообразным снижение уровня энергоэффективности одной или нескольких систем для обеспечения максимальной общей энергоэффективности на уровне установки в целом. См. в частности разделы 1.3.5 и 1.5.1.1;
- необходимо поддерживать оптимальный баланс между стремлением к повышению энергоэффективности и другими соображениями, например, обеспечением качества продукции и стабильностью технологических процессов;
- использование «отходящего» (избыточного) тепла и/или энергии из возобновляемых источников может быть более устойчивым, чем сжигание ископаемого топлива, даже если при этом достигается меньший уровень энергоэффективности.

Поэтому предлагаемые методы в области энергоэффективности рассматриваются как средства «оптимизации энергоэффективности».

Методы, представленные в настоящей главе, были оценены и отобраны в результате поэтапного процесса, включавшего следующие шаги:

- выявление основных проблем энергоэффективности в области применения Директивы КПКЗ (см. Предисловие и «Область применения»[42]);
- изучение методов (технологий), наиболее подходящих для решения этих проблем;
- выявление наилучших достижимых уровней энергоэффективности на основе доступной информации о европейской и мировой практике;
- изучение условий, при которых были достигнуты эти уровни результативности, например, затрат, воздействия на различные компоненты окружающей среды, а также основных мотивов и движущих сил, обусловивших применение соответствующих методов;
- выбор общих наилучших доступных технологий (НДТ) в соответствии со статьей 2(12) и Приложением IV к Директиве.

Экспертные оценки и суждения представителей Европейского бюро по КПКЗ и соответствующей Технической рабочей группы (ТРГ) сыграли чрезвычайно важную роль на каждом из этих шагов, а также при определении способа представления информации в настоящем документе.

Там, где это возможно, в предшествующих главах, наряду с описанием технологий, приведены финансовые данные, которые могут использоваться в качестве ориентировочной оценки соответствующих затрат. Однако фактические затраты, связанные с применением технологии или метода, будут существенно зависеть от конкретной местной ситуации, включая, например, размеры налогов и других платежей, а также технические характеристики конкретной установки. Разумеется, все подобные факторы, специфичные для конкретных условий, не могут быть в полной мере учтены в настоящем документе. В отсутствие количественных данных по затратам выводы об экономической жизнеспособности технологий и методов делались на основе наблюдения за существующими предприятиями.

Предполагается, что общие НДТ, описываемые в настоящей главе, будут использоваться в качестве ориентира для оценки результативности существующих предприятий, а также оценки предложений о строительстве новых установок. Таким образом, эта информация может использоваться при определении основанных на НДТ условий разрешения для конкретной установки, а также при выработке общеобязательных правил в соответствии со статьей 9(8) Директивы КПКЗ. Предполагается, что новые установки могут быть спроектированы таким образом, что их результативность будет соответствовать представленным в настоящем документе уровням НДТ или даже превышать их. Предполагается также, что существующие установки могут повышать свою результативность, достигая общих уровней НДТ или превышая их, при условии технической применимости соответствующих методов и экономической целесообразности их использования в каждом конкретном случае.

Хотя Справочные документы по НДТ не устанавливают обязательных стандартов или норм, предполагается, что они содержат информацию рекомендательного характера для промышленности, государств-членов и общественности о достижимых уровнях выбросов, сбросов и потребления ресурсов при использовании описанных технологий (включая приводимые в вертикальных Справочных документах), или эквивалентных параметрах и технических мерах (статья 9(4)). Адекватные условия разрешения для каждого конкретного случая должны формулироваться с учетом целей Директивы КПКЗ, а также местных условий.

Определение горизонтальных НДТ

В основе «горизонтального» подхода к энергоэффективности, не привязанного к конкретной отрасли, лежит представление о том, что энергия потребляется на любом производственном предприятии, а сходные системы и виды оборудования используются во многих отраслях КПКЗ. Поэтому возможно выявить горизонтальные подходы к обеспечению энергоэффективности, относительно независимые от основного вида деятельности предприятия. Исходя из этого, могут быть отобраны НДТ, включающие наиболее эффективные методы достижения высокого уровня энергоэффективности в целом. Поскольку настоящий документ носит горизонтальный характер,

[42] Значение энергоэффективности в контексте Директивы КПКЗ, область применения настоящего документа, а также связь его положений с другими политическими и правовыми обязательствами и нормами обсуждаются в Предисловии и разделе «Область применения». В частности, в этих разделах было отмечено, что в настоящем документе не обсуждаются такие вопросы, как использование энергии из возобновляемых источников.

НДТ в его рамках должны определяться в более общей форме, чем в отраслевых Справочных документах, например, как учет взаимодействия технологических процессов, производственных единиц и систем в рамках предприятия.

НДТ обеспечения энергоэффективности и связанные с ними уровни потребления энергии для конкретных технологических процессов приводятся в соответствующих вертикальных (отраслевых) Справочных документах. Общая сводка, охватывающая часть этой информации, приведена в [283, EIPPCB].

Таким образом, НДТ для конкретной установки определяется на основе сочетания конкретных элементов НДТ, описанных в соответствующем отраслевом Справочном документе, конкретных НДТ для вспомогательных видов деятельности и элементов производственного процесса, которые могут быть описаны в других отраслевых Справочных документах, а также общих элементов НДТ, описанных в настоящей главе. НДТ, применимые на уровне установки в целом, описаны в разделе 4.2, а НДТ, применимые на уровне отдельных систем, технологических процессов, видов деятельности или оборудования приведены в разделе 4.3 (соотношение между различными НДТ проиллюстрировано на рис. 4.1).

Ни настоящая глава, ни главы 2 и 3 не содержат исчерпывающего списка методов обеспечения энергоэффективности, которые могут рассматриваться в контексте КПКЗ и НДТ. Это означает, что другие существующие или вновь разработанные методы могут быть столь же приемлемыми для этих целей.

Применение НДТ

Как правило, применение НДТ в условиях новых или модернизируемых предприятий не сопряжено со значительными трудностями. В большинстве случаев оптимизация энергоэффективности является оправданной с экономической точки зрения. Внедрение НДТ в условиях существующего предприятия, как правило, является более сложным вследствие ограничений, накладываемых существующей инфраструктурой и местными условиями: необходимо принять во внимание экономическую и техническую осуществимость соответствующих мероприятий (см. Предисловие и факторы, перечисленные ниже). В Справочном документе по экономическим аспектам и воздействию на различные компоненты окружающей среды [167, EIPPCB, 2006] приведены следующие факторы, значимые в контексте внедрения НДТ:

- в процессе проектирования нового предприятия или планирования значительной модернизации существующего – степень связанности ранее принятыми решениями по выбору технологий и методов (т.е. состояние процесса по отношению к моменту, когда принятые проектные решения не могут быть пересмотрены экономически эффективным образом);
- возраст и конструкция существующего оборудования;
- стадия инвестиционного цикла, на которой находится установка;
- степень сложности технологических процессов, а также фактически применяемые методы и технологии;
- проектная производительность, объемы производства и ассортимент продукции;
- применяемые виды обработки и требования к качеству продукции;
- имеющиеся производственные площади;
- стоимость, доступность и надежность рассматриваемых методов и технологий во временных рамках, определяемых потребностями оператора;
- период времени, необходимый для предполагаемого изменения деятельности (включая любые структурные изменения), и возможность согласования требований, связанных с изменениями, с необходимостью осуществления производственной деятельности;
- затраты и выгоды, связанные с любой экологической деятельностью, осуществляемой в настоящее время;
- новые и развивающиеся (перспективные) технологии;
- финансовые затраты, а также воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Тем не менее, настоящий документ в большинстве случаев не проводит различия между НДТ для новых и существующих установок. Введение такого различия не способствовало бы прогрессу существующих предприятий в направлении внедрения НДТ. Как правило, меры по повышению энергоэффективности обеспечивают определенную экономическую отдачу; кроме того, в силу признанной важности энергоэффективности существуют многочисленные программы по поддержке соответствующих усилий, включая схемы финансового стимулирования. Сведения о соответствующих программах и нормативных документах ЕС и государств-членов приведены в Приложении 7.13.

Некоторые из технологий и методов, описанных в настоящей главе, должны применяться постоянно, а некоторые требуют периодического применения; при этом методы могут применяться в полном объеме или частично. Например, некоторые процедуры технического обслуживания должны выполняться ежедневно, а другие – в определенные моменты времени (например, во время плановых остановов оборудования).

Некоторые методы являются крайне желательными и часто реализуются, однако необходимым условием их применения может быть наличие третьей стороны и ее готовность к сотрудничеству (например, в случае когенерации).

Структура настоящей главы

При подготовке настоящего документа стало очевидным, что методы обеспечения энергоэффективности, включая НДТ, целесообразно рассматривать в определенном порядке. Этот порядок отражен в структуре этой главы и представлен на рис. 4.1.

Первым приоритетом является выбор и организация технологических процессов, соответствующих основной производственной деятельности. Соответствующие вопросы обсуждаются в вертикальном Справочном документе для конкретной отрасли, который должен применяться в качестве справочного источника в первую очередь.

В некоторых случаях к вспомогательным видам деятельности и технологическим процессам могут применяться методы и технологии, описанные в отдельных вертикальных Справочных документах, например, по крупным топливосжигающим установкам, сжиганию отходов или переработке отходов.

Однако обеспечение энергоэффективности является универсальным приоритетом, актуальным для любых отраслей. Некоторые аспекты соответствующей деятельности не отражены в соответствующих вертикальных справочных документах; некоторые задачи могут решаться сходным образом независимо от конкретной отрасли. Эти аспекты и подходы представлены в настоящем документе.

Первым этапом внедрения НДТ является формирование программы действий на основе системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ), которой посвящен раздел 4.2.1. Задача создания такой системы может быть решена несколькими способами: (i) функции СМЭЭ может выполнять система экологического менеджмента (СЭМ), описанная в соответствующем вертикальном Справочном документе; (ii) СЭМ может быть модифицирована и дополнена для выполнения функций менеджмента энергоэффективности; (iii) на предприятии может быть создана отдельная СМЭЭ. Некоторые НДТ применимы в условиях проектирования новой установки или планирования модернизации существующей.

В разделах 4.2.2–4.2.9 описаны НДТ, ориентированные на поддержку и обеспечение эффективного функционирования определенных элементов СМЭЭ.

В разделе 4.3 описаны НДТ для некоторых типичных систем, технологических процессов, вспомогательных видов деятельности и видов оборудования, способные внести вклад в обеспечение энергоэффективности установки, но не обсуждаемые подробно в вертикальных справочных документах. Соответствующие системы и элементы могут быть выявлены в процессе оценки (обследования) установки.

Во многих случаях под заголовком «Применимость» приводится краткая сводка информации, содержащейся в предшествующих главах. В частности, могут быть приведены сведения о том, к каким видам установок применима данная НДТ, о сложности и рекомендуемой периодичности применения НДТ и т.д.

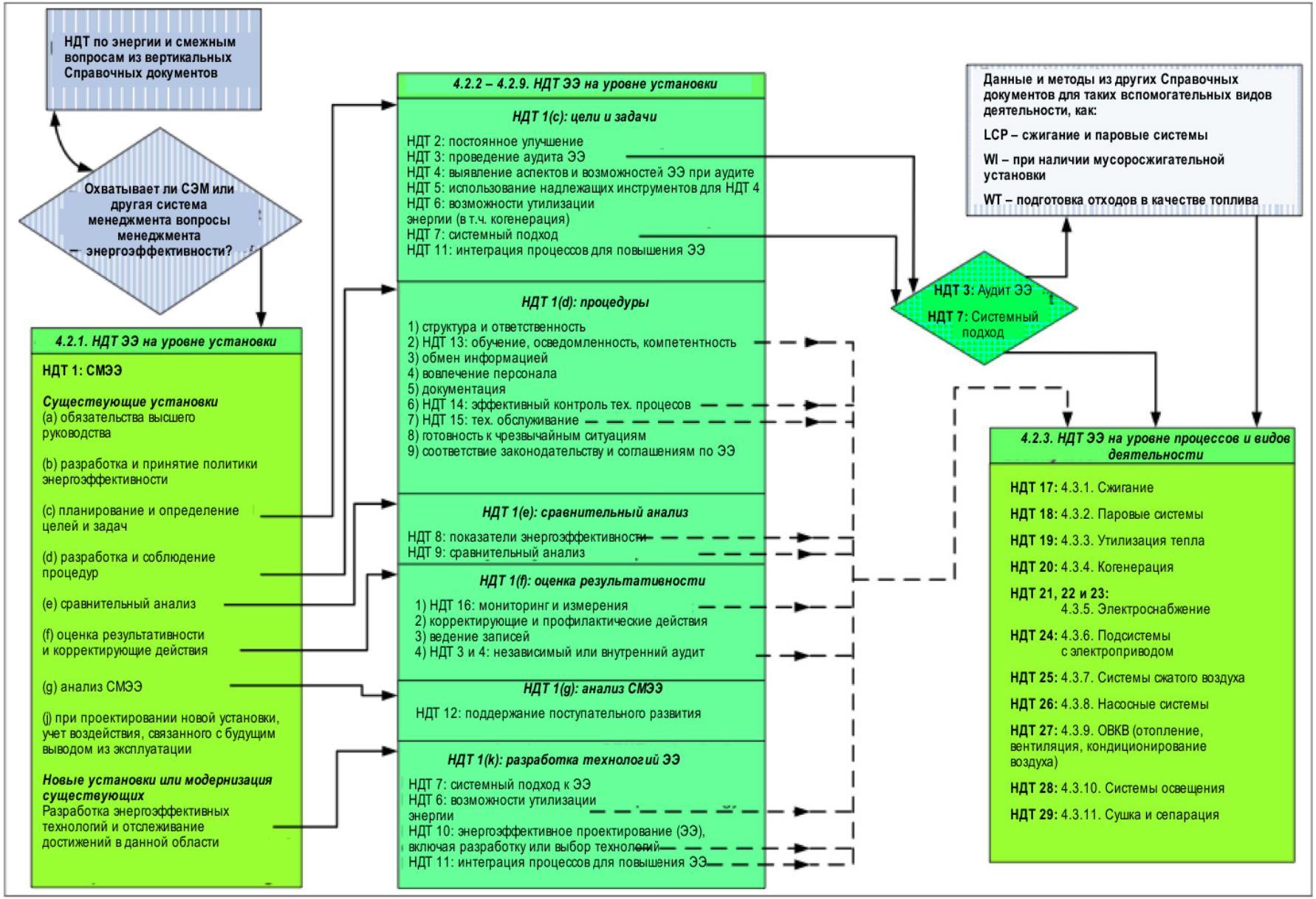


Рисунок 4.1: Взаимосвязи между различными НДТ обеспечения энергоэффективности

4.2. Наилучшие доступные технологии обеспечения энергоэффективности на уровне установки

Важнейшим элементом обеспечения энергоэффективности на уровне установки является систематический менеджмент энергоэффективности, составляющий содержание НДТ 1. Реализация этого метода поддерживается рядом других НДТ, которым посвящены дальнейшие разделы.

4.2.1. Менеджмент энергоэффективности

В состав НДТ входит ряд методов менеджмента энергоэффективности. Область применения и особенности конкретной системы менеджмента энергоэффективности (например, степень детальности), а также общий ее характер (например, внедряется ли система на основе какого-либо стандарта), как правило, определяются характером, масштабом и уровнем сложности установки, а также энергопотреблением составляющих ее технологических процессов и систем (см. раздел 2.1)

1. НДТ состоит во внедрении и поддержании функционирования системы менеджмента энергоэффективности (СМЭЭ), в состав которой входят, в той мере, в какой это применимо в конкретных условиях, все перечисленные ниже элементы (см. раздел 2.1; используемые ниже обозначения пунктов соответствуют обозначениям, применяемым в разделе 2.1)**:**

a. обязательства высшего руководства (обязательства высшего руководства рассматриваются как необходимая предпосылка успешного менеджмента энергоэффективности);

b. разработка и принятие политики энергоэффективности установки высшим руководством;

c. планирование и определение целей и задач (см. НДТ 2, 3 и 8);

d. разработка и соблюдение процедур, уделяющих особое внимание следующим вопросам:

(i) организационная структура и ответственность;

(ii) обучение, обеспечение осведомленности и компетентности (см. НДТ 13);

(iii) информационный обмен;

(iv) участие сотрудников;

(v) документирование;

(vi) эффективный контроль технологических процессов (см. НДТ 14);

(vii) техническое обслуживание (см. НДТ 15);

(viii) готовность к чрезвычайным ситуациям;

(ix) обеспечение соответствия законодательным требованиям в области энергоэффективности и соответствующим соглашениям (если таковые существуют;

e. сравнительный анализ: установление и периодическая оценка показателей энергоэффективности (см. НДТ 8), а также систематическое и регулярное сопоставление с отраслевыми, национальными и региональными ориентирами в области энергоэффективности при наличии подтвержденных данных (см. разделы 2.1(e), 2.16, а также НДТ 9);

f. оценка результативности и корректирующие действия, уделяющие особое внимание следующим вопросам:

(i) мониторинг и измерения;

(ii) корректирующие и профилактические действия;

(iii) ведение записей;

(iv) независимый (там, где это возможно) или внутренний аудит с целью оценки того, соответствует ли система установленным требованиям, а также того, внедрена ли она и поддерживается надлежащим образом (см. НДТ 4 и 5);

g. регулярный анализ СМЭЭ, ее соответствия целям, а также адекватности и результативности со стороны высшего руководства;

Для пп. (h) и (i) см. положения о декларации об энергоэффективности и внешнем подтверждении ниже.

j. при проектировании новой установки, учет воздействия на окружающую среду, связанного с последующим выводом установки из эксплуатации,

k. разработка энергоэффективных технологий и отслеживание достижений в сфере методов обеспечения энергоэффективности.

Функционирование СМЭЭ может быть обеспечено посредством реализации перечисленных элементов в составе существующей системы менеджмента (например, СЭМ) или создания отдельной системы менеджмента энергоэффективности.

Три элемента, перечисленных ниже, представляют собой вспомогательные меры. Хотя с их реализацией связаны определенные преимущества, не имеющая этих элементов система может считаться соответствующей НДТ. К этим дополнительным элементам относятся:

- (см. раздел 2.1(h)) подготовка, публикация и, возможно, внешнее подтверждение периодической декларации об энергоэффективности, отражающей все значимые экологические аспекты деятельности установки и позволяющей ежегодное сравнение результативности с поставленными экологическими целями и задачами, а также, если это возможно, отраслевыми ориентирами;
- (см. раздел 2.1(i)) оценка и подтверждение (сертификация) системы менеджмента и процедуры аудита аккредитованным сертифицирующим органом или другой организацией, осуществляющей внешнее подтверждение СМЭЭ;
- (см. раздел 2.1, «Применимость», п. 2) внедрение системы менеджмента на основе международно признанных добровольных стандартов, например:
    - DS2403, IS 393, SS627750, VDI Richtlinie No. 46 и т.д.;
    - (в случае реализации менеджмента энергоэффективности на основе СЭМ) EMAS и ISO 14001:1996. Этот добровольный шаг может обеспечить более высокий уровень доверия к системе. Однако системы, не основанные на стандартах, могут быть столь же результативны при условии их адекватной разработки и внедрения.

Применимость: Все установки. Область применения и особенности конкретной СМЭЭ (например, степень детальности) определяется характером, масштабом и уровнем сложности установки, а также энергопотреблением составляющих ее технологических процессов и систем.

4.2.2. Планирование и определение целей и задач

4.2.2.1. Постоянное улучшение экологической результативности

Постоянное улучшение[43] экологической результативности является важным элементом системы экологического менеджмента. В процессе улучшения результативности установки должен поддерживаться баланс между потреблением энергии, сырья и воды, а также объемом выбросов и сбросов (см. разделы 1.1.6 и 2.2.1). Планомерно осуществляемое постоянное улучшение может также способствовать обеспечению энергосбережения (и снижения воздействия на окружающую среду) наиболее экономически эффективным образом.

2. НДТ состоит в постоянном сведении к минимуму воздействия установки на окружающую среду посредством комплексного планирования мероприятий и инвестиций на кратко-, средне- и долгосрочную перспективу с учетом экономической целесообразности, а также воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Применимость: Все установки.

[43] Для обозначения этого понятия используется также термин «последовательное улучшение». (*Прим. ред.*)

«Постоянное» означает, что цикл планирования и реализации мер по повышению результативности периодически повторяется. При этом все плановые и инвестиционные решения должны принимать во внимание общую долгосрочную цель снижения воздействия деятельности на окружающую среду. В некоторых случаях постоянное улучшение предполагает отказ от краткосрочных результатов с целью более эффективного использования имеющихся ресурсов для достижения долгосрочных целей. Например, изменение основного технологического процесса может потребовать больше времени и ресурсов, чем краткосрочные мероприятия, но в результате обеспечить большее сокращение энергопотребления и выбросов (см примеры в разделе 2.2.1).

Повышение экологической результативности с течением времени не обязательно носит линейный характер, т.е. далеко не всегда удается обеспечить, например, 2% дополнительного энергосбережения за каждый год на протяжении 10 лет. Повышение результативности может носить нерегулярный и ступенчатый характер, отражая инвестиции в проекты по повышению энергоэффективности и действие других факторов (см. раздел 2.2.1). Кроме того, может сыграть свою роль взаимосвязь между различными составляющими экологической результативности: например, дополнительное снижение выбросов в атмосферу может потребовать увеличения энергопотребления.

Воздействие на окружающую среду невозможно устранить полностью, и в отдельные моменты времени возможна ситуация, когда стимулы для дальнейшей деятельности незначительны или отсутствуют. Однако по мере развития технологий и изменения уровня затрат (например, в результате изменения цен на энергию) степень целесообразности тех или иных мер может измениться.

4.2.2.2. Выявление аспектов энергоэффективности установки и возможностей для энергосбережение

Оптимизация энергоэффективности требует выявления и количественного выражения аспектов деятельности установки, влияющих на энергоэффективность последней (см. раздел 2.11). Эта информация является основой для выявления, количественной оценки, определения относительного приоритета и реализации возможностей энергосбережения в соответствии с НДТ 2 (см. разделы 4.2.2.1 и 2.1(c)).

3. НДТ состоит в выявлении аспектов установки, влияющих на ее энергоэффективность, посредством организации аудита. Существенным является соответствие аудита принципам системного подхода (см. НДТ 7).

Применимость: Все существующие установки, в т.ч. перед планированием модернизации или реконструкции. Аудит может быть внешним или внутренним.

Задачи и особенности аудита (например, степень детальности или периодичность проведения аудитов) определяются характером, масштабом и уровнем сложности установки, а также энергопотреблением составляющих ее технологических процессов и систем (см. раздел 2.8.), например:

- *в условиях крупных установок, в состав которых входит большое количество систем и отдельных энергопотребляющих компонентов, например электродвигателей, необходимо определить приоритеты сбора данных, сосредоточившись, в первую очередь, на аспектах деятельности, с которыми связано значительное энергопотребление и, как следствие, существенный потенциал энергосбережения;*
- *для небольших установок может быть достаточно обзорного аудита.*

Первый энергоаудит, проводимый на предприятии, может назваться энергетической диагностикой.

4. НДТ при проведении аудита состоит в обеспечении выявления следующих аспектов (см. раздел 2.11):

a. характер энергопотребления установки, а также систем и технологических процессов, входящих в ее состав;

b. энергопотребляющее оборудование, а также тип и количество энергии, потребляемой этим оборудованием;

c. возможности минимизации энергопотребления, например:

- контроль/сокращение времени работы оборудования, например, отключение неиспользуемого оборудования (см., например, разделы 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.11);
- оптимизация теплоизоляции (см., например, разделы 3.1.7, 3.2.11 и 3.11.3.7);
- оптимизация использования энергоресурсов, а также соответствующих систем, технологических процессов и оборудования (см. главу 3);

d. возможности использования альтернативных источников или способов применения энергии, обеспечивающих более высокую энергоэффективность, в частности, использование избыточной энергии от других технологических процессов и/или систем (см. раздел 3.3);

e. возможности использования образующейся избыточной энергии в других технологических процессах и/или системах (см. раздел 3.3);

f. возможности повышения качества тепловой энергии (см. раздел 3.3.2)

Применимость: Все установки. Задачи и особенности аудита (например, степень детальности или периодичность проведения аудитов) определяются характером, масштабом и уровнем сложности установки, а также энергопотреблением составляющих ее технологических процессов и систем

Некоторые примеры подходов к оптимизации энергоэффективности систем и технологических процессов приведены в соответствующих разделах главы 3.

5. НДТ состоит в использовании надлежащих инструментов и методик, позволяющих выявить и количественно оценить возможности для оптимизации энергопотребления. Это могут быть, в частности:

- энергетические модели, базы данных и энергобалансы (см. раздел 2.15);
- аналитические методы, например, пинч-анализ (см. раздел 2.12), анализ эксергии или энтальпии (см. раздел 2.13), термоэкономика (см. раздел 2.14);
- оценки и расчеты (см. разделы 1.5 и 2.10.2).

Применимость: Применимо в условиях любой отрасли. Выбор оптимального инструмента или инструментов зависит от отрасли, а также размера, сложности и энергопотребления установки. В конечном счете, выбор инструментов определяется условиями конкретного предприятия (см. обсуждение в разделах, посвященных отдельным инструментам).

6. НДТ состоит в выявлении возможностей для оптимизации утилизации энергии в пределах установки, с передачей энергии между системами внутри установки (см. НДТ 7) и/или третьей стороне (сторонам), как описано в разделах 3.2, 3.3 и 3.4.

Применимость: Практическая реализация данного НДТ зависит от возможности найти применение для избыточного тепла соответствующего типа и в таком количестве, которое может быть получено на установке (см. разделы 3.3 и 3.4, а также Приложения 7.10.2 и 7.10.3; принципы системного подхода описаны в разделе 2.2.2 и НДТ 7). Применение для тепловой энергии может быть найдено в различные моменты времени и различными способами, например, по результатам аудита или другого обследования, при планировании модернизации существующего или строительства нового предприятия, или при изменении местной ситуации (в результате которого может возникнуть потенциальное применение для тепла на другом предприятии).

Обеспечение сотрудничества третьих сторон и соглашений с ними может находиться за пределами возможностей оператора и, как следствие, за пределами условий разрешения КПКЗ. Во многих случаях государственные органы оказывают содействие в заключении подобных соглашений или сами выступают в качестве такой третьей стороны.

4.2.2.3. Системный подход к менеджменту энергоэффективности

Наибольший потенциал энергосбережения может быть реализован посредством рассмотрения установки как целого и оценки потребностей и способов применения составляющих ее систем, их энергопотребления и способов их взаимодействия (см. разделы 1.3.5, 1.4.2 и 2.2.2).

7. НДТ состоит в оптимизации энергоэффективности на основе системного подхода к менеджменту энергоэффективности установки. Системы, которые должны рассматриваться как целое при оптимизации энергоэффективности, включают, в частности:

- системы, входящие в состав основного производственного оборудование (см. отраслевые Справочные документы);
- системы теплоснабжения, например:
  - паровые (см. раздел 3.2);
  - водяные;
- вакуумные системы и системы охлаждения (см. Справочный документ по промышленным системам охлаждения);
- системы с электроприводом, в частности:
  - системы сжатого воздуха (см. раздел 3.7);
  - насосные системы (см. раздел 3.8);
- осветительные системы (см. раздел 3.10);
- системы сушки, сепарации и концентрации (см. раздел 3.11).

Применимость: Все установки. Масштаб и характер применения данного метода (например, степень детальности, периодичность мероприятий по оптимизации, выбор систем, рассматриваемых во взаимосвязи) зависят от характера, масштаба и сложности установки, энергопотребления систем и технологических процессов, входящих в ее состав, а также рассматриваемых методов оптимизации энергоэффективности.

4.2.2.4. Установление и пересмотр целей и показателей в области энергоэффективности

Наличие определенных в количественной форме и документально зафиксированных целей в области энергоэффективности является необходимым условием достижения и поддержания высокого уровня энергоэффективности. Приоритетные области для улучшения определяются по результатам аудита (см. НДТ 3). Кроме того, для оценки результативности деятельности должны быть определены показатели энергоэффективности. Для перерабатывающих отраслей промышленности предпочтительным является использование показателей удельного энергопотребления (УЭП), отражающих затраты энергии на единицу произведенной продукции или услуг (например ГДж/т продукции, см. раздел 1.3). Там, где не может быть поставлена единственная цель в области энергопотребления (например, целевое значение УЭП), или это не является целесообразным, при помощи показателей может оцениваться энергоэффективность отдельных технологических процессов, производственных единиц или систем. Данные по энергоэффективности технологических процессов часто приводятся в соответствующих вертикальных Справочных документах (обзор этой информации приведен в [283, EIPPCB]).

Изменение характеристик производства (объема выпуска, типа производимой продукции и т.п.) может влиять на результаты оценки энергоэффективности. Поэтому производственные параметры должны документироваться для того, чтобы можно было учесть их динамику и убедиться в том, что наблюдаемое повышение энергоэффективности является результатом осуществляемых мероприятий (см. разделы 1.4 и 1.5). Структура потребления и движения энергии может быть весьма сложной, поэтом необходимо тщательно определить границы установки или систем, для которых устанавливаются показатели, ориентируясь на системы, входящие в состав установки (см. разделы 1.3.5 и 1.4.2, а также НДТ 7). Данные по энергопотреблению могут приводиться к первичной энергии, или могут использоваться показатели потребления вторичной энергии для

различных видов энергоресурсов (например, использование технологического тепла в форме пара в ГДж/т, см. раздел 1.3.6.1).

8. НДТ состоит в установлении показателей энергоэффективности посредством выполнения всех следующих действий:

- определение подходящих показателей энергоэффективности для установки в целом и, там, где это необходимо, для отдельных технологических процессов, систем и/или производственных единиц, а также оценка изменения этих показателей с течением времени или после осуществления мероприятий по повышению энергоэффективности (см. разделы 1.3 и 1.3.4);
- определение и документирование адекватных границ систем для целей расчета показателей (см. разделы 1.3.5 и 1.5.1);
- определение и документирование факторов, которые могут вызывать изменение энергоэффективности значимых технологических процессов, систем и/или производственных единиц.

Применимость: Все установки. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данных методов определяются характером, масштабом и сложностью установки, а также энергопотреблением составляющих ее технологических процессов и систем.

Как правило, для оценки энергоэффективности текущей деятельности используется потребление вторичных или конечных форм энергии. В некоторых случаях оптимальным вариантом может быть совместное использование нескольких показателей, отражающих потребление нескольких вторичных или конечных форм энергии, как, например, в целлюлозно-бумажной отрасли, где может отдельно оцениваться потребление электроэнергии или пара. При принятии решения о выборе (или смене) поставщика энергоресурсов также может быть целесообразным ориентироваться на показатели, связанные со вторичными или конечными формами энергии. Однако в зависимости от конкретных условий и задач могут использоваться и другие показатели, например, потребление первичной энергии или вклад в углеродный баланс. Подобные показатели могут использоваться, например, для оценки общей энергоэффективности с учетом всех видов энергоресурсов, а для также нахождения баланса между воздействием на различные компоненты окружающей среды (см. раздел 1.3.6.1).

4.2.2.5. Сравнительный анализ

Сравнительный анализ (бенчмаркинг) представляет собой мощный инструмент оценки результативности предприятия в целом и отдельных мероприятий по оптимизации энергоэффективности, одновременно позволяющий преодолеть замкнутость в собственной парадигме[44]. Данные для сравнительного анализа могут быть получены из отраслевых Справочных документов, документов отраслевых ассоциаций, национальных рекомендаций и руководств, а также на основе теоретических оценок энергопотребления технологических процессов. Данные должны быть сопоставимы и могут потребовать корректировки, например, для учета различий в типах используемого сырья. В некоторых ситуациях значительную роль могут играть соображения конфиденциальности данных (например, в случае, когда затраты на энергию составляют значительную часть себестоимости продукции), однако возможно выполнение сравнительного анализа без нарушения конфиденциальности (см. раздел 2.16). См. также соображения об определении показателей энергоэффективности (НДТ 8).

Возможен также сравнительный анализ отдельных технологических процессов и производственных методов (см. разделы 2.5 и 2.16).

9. НДТ состоит в регулярном проведении систематического сравнительного анализа результативности с использованием отраслевых, национальных или региональных ориентиров при наличии соответствующих подтвержденных данных.

[44] Под «замкнутостью в парадигме» понимается ситуация, когда приверженность доминирующей парадигме мешает увидеть жизнеспособные альтернативные варианты («наш способ делать это – самый лучший, потому что мы всегда делали это именно так»).

Применимость: Все установки. Степень детальности сравнительного анализа зависит от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем. Может возникнуть необходимость учета соображений конфиденциальности (см. раздел 2.16): например, возможно требование сохранения конфиденциальности результатов сравнительного анализа. В качестве подтвержденных данных может использоваться, в частности, информация Справочных руководств, а также данные, подтвержденные третьей стороной. Периодичность проведения сравнительного анализа зависит от конкретной отрасли, но, как правило, такой анализ проводится не чаще, чем раз в год или несколько лет, поскольку данные, лежащие в его основе, редко претерпевают существенные изменения за короткий промежуток времени.

4.2.3. Энергоэффективное проектирование (ЭЭП)

Этап планирования строительства нового предприятия, установки или системы (или значительной модернизации одного из этих объектов) предоставляет возможности для анализа затрат, связанных с технологическими процессами, оборудованием или системами, на протяжении всего жизненного цикла, а также выбора наиболее энергоэффективного варианта с учетом этих затрат (см. раздел 2.1(c)).

10. НДТ состоит в оптимизации энергоэффективности при проектировании новой установки, производственной единицы или системы, или при планировании их значительной модернизации (см. раздел 2.3) с учетом всех соображений, перечисленных ниже:

a. энергоэффективное проектирование (ЭЭП) должно начинаться на ранних стадиях концептуального/эскизного проектирования, даже если предполагаемые параметры инвестиций еще не определены окончательно, и должно приниматься во внимание при организации тендеров;

b. разработка и/или выбор энергоэффективных технологий (см. разделы 2.1(k) и 2.3.1);

c. для дополнения существующих данных и устранения пробелов в необходимой информации может потребоваться сбор дополнительных данных, осуществляемый в рамках проектирования или отдельно;

d. работы по ЭЭП должны выполняться экспертом-энергетиком (специалистом в области энергоэффективности);

e. в ходе исходного картирования энергопотребления необходимо, в частности, выявить, от каких лиц и подразделений в составе проектной организации или организации-заказчика зависит энергопотребление будущего объекта, а затем организовать взаимодействие с ними с целью оптимизации энергоэффективности последнего. Например, речь может идти о сотрудниках существующей установки, ответственных за определение эксплуатационных параметров будущего объекта.

Применимость: Все новые установки, значительные технологические процессы или системы, а также объекты, для которых предполагается существенная модернизация. Если сотрудники организации не располагает необходимой квалификацией для энергоэффективного проектирования, следует привлечь внешних экспертов в области энергоэффективности (см. раздел 2.3).

4.2.4. Повышение степени интеграции технологических процессов

Помимо оптимизации энергоэффективности, имеются и другие преимущества лучшей интеграции технологических процессов, например, более эффективное использование сырья.

11. НДТ состоит в стремлении к оптимизации использования энергии в рамках более чем одного технологического процесса или системы (см. раздел 2.4) в пределах установки или с участием третьей стороны.

Применимость: Все установки. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данного метода зависят от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем.

Обеспечение сотрудничества третьих сторон и соглашений с ними может находиться за пределами возможностей оператора и, как следствие, за пределами условий разрешения КПКЗ. Во многих случаях государственные органы оказывают содействие в заключении подобных соглашений или сами выступают в качестве такой третьей стороны.

4.2.5. Поддержание поступательного развития инициатив в области энергоэффективности

Для обеспечения постоянного улучшения результативности в области энергоэффективности необходимо поддерживать поступательное развитие соответствующих инициатив и программ (см. раздел 2.5).

12. НДТ состоит в поддержании поступательного развития программ повышения энергоэффективности посредством использования разнообразных методов, включая:

a. внедрение системы менеджмента энергоэффективности (см. раздел 2.1 и НДТ 1);

b. учет потребления энергии на основе фактического (измеренного) потребления, что возлагает ответственность за обеспечение энергоэффективности на конечного пользователя/плательщика, вознаграждая его за энергосбережение (см. разделы 2.5, 2.10.3, 2.15.2);

c. создание центров прибыли, связанных с повышением энергоэффективности (см. раздел 2.5);

d. сравнительный анализ результативности (см. раздел 2.16 и НДТ 9);

e. анализ существующих систем менеджмента, позволяющий посмотреть на них свежим взглядом, например, с использованием подходов «совершенства в производственной деятельности» (см. раздел 2.5);

f. использование методов управления изменениями внутри организации (см. раздел 2.5).

Применимость: Все установки. В конкретных условиях может быть целесообразным использование одного или нескольких из указанных методов. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данных методов зависят от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем. Методы (a), (b) и (c) применяются в соответствии с рекомендациями, приводимыми в указанных разделах. Для таких методов, как (d), (e) и (f), интервал между последовательными оценками должен быть не слишком коротким, чтобы было возможно оценить результаты осуществления программы оптимизации энергоэффективности. Вероятно, он будет составлять несколько лет.

4.2.6. Поддержание уровня квалификации персонала

Наличие квалифицированных кадровых ресурсов является необходимым условием внедрения и осуществления менеджмента энергоэффективности; сотрудники, деятельность которых может повлиять на уровень энергопотребления, должны проходить соответствующее обучение (см. раздел 2.1(d)(i) и (ii), а также раздел 2.6).

13. НДТ состоит в поддержании уровня квалификации персонала в сфере энергоэффективности и энергопотребляющих систем с помощью таких методов, как:

- привлечение квалифицированного персонала и/или обучение персонала. Обучение может проводиться собственными специалистами организации или внешними экспертами, в форме организованных учебных курсов или самообразования/профессионального развития (см. раздел 2.6);
- периодическое освобождение работников от повседневных обязанностей для участия в плановых обследованиях или расследованиях по конкретному вопросу (в пределах их собственной установки или на другой установке, см. раздел 2.5);
- обмен кадровыми ресурсами между объектами (см. раздел 2.5);
- привлечение консультантов, обладающих необходимой квалификацией, для проведения плановых обследований (см., например, раздел 2.11);

- делегирование специализированных функций и/или эксплуатации специализированных систем внешней организации (см., например, Приложение 7.12).

Применимость: Все установки. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данных методов зависят от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем.

4.2.7. Эффективный контроль технологических процессов

14. НДТ состоит в обеспечении эффективного контроля технологических процессов посредством таких методов, как:

a. поддержание систем, обеспечивающих знание, понимание и выполнение персоналом установленных процедур (см. разделы 2.1(d)(vi) и 2.5);

b. обеспечение выявления ключевых параметров технологического процесса, влияющих на энергопотребление, их оптимизации с точки зрения энергоэффективности, а также их мониторинга (см. разделы 2.8 и 2.10);

c. документирование этих параметров или ведение соответствующих записей (см. разделы 2.1(d)(vi), 2.5, 2.10 и 2.15).

Применимость: Все установки. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данных методов зависят от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем.

4.2.8. Техническое обслуживание

Организованное техническое обслуживание оборудования, потребляющего энергию и/или управляющего ее потреблением, а также наличие процедур, обеспечивающих ремонт указанного оборудования при первой возможности, являются важными факторами достижения и поддержания высокого уровня энергоэффективности (см. разделы 2.1(d)(vii), 2.9 и НДТ 1).

15. НДТ состоит в организации технического обслуживания в пределах установки с целью оптимизации энергоэффективности при помощи всех перечисленных ниже методов:

a. четкое распределение ответственности за планирование и осуществление технического обслуживания;

b. формирование структурированной программы технического обслуживания, основанной на технической документации оборудования, нормативах и т.д., а также данных о любых отказах оборудования и их последствиях. Некоторые виды технического обслуживания целесообразно осуществлять во время плановых остановов оборудования;

c. поддержка программы технического обслуживания посредством надлежащей системы ведения записей и диагностических проверок;

d. выявление на основе результатов планового технического обслуживания, а также отказов и случаев нештатного функционирования оборудования возможных причин снижения энергоэффективности, а также возможностей для ее повышения;

e. выявление утечек, неисправного оборудования, изношенных подшипников и других факторов, которые могут повлиять на энергопотребление, и исправление их при первой же возможности.

Применимость: Все установки. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данных методов зависят от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем. Там, где это применимо, должен быть обеспечен баланс между оперативным устранением неисправностей и необходимостью обеспечения качества продукции, стабильности производственного процесса, а также здоровья и безопасности персонала при выполнении ремонтных работ на действующем предприятии (где может находиться оборудование с движущимися частями, имеющее высокую температуру и т.п.).

4.2.9. Мониоринг и измерения

Мониторинг и измерения представляют собой важную часть этапа «проверки» в цикле «планирование–осуществление–проверка–корректировка», на котором основан, в частности, менеджмент энергоэффективности (см. раздел 2.1). Кроме того, они являются важной составляющей эффективного контроля технологических процессов (см. НДТ 14).

16. НДТ состоит в определении и соблюдении документированных процедур регулярного мониторинга и измерения ключевых характеристик производственного процесса и видов деятельности, которые могут оказывать значительное влияние на энергоэффективность. Некоторые методы, которые могут применяться для этого, описаны в разделе 2.10.

Применимость: Все установки. Масштаб и особенности (например, степень детальности) применения данного метода зависят от характера, масштаба и сложности установки, а также энергопотребления составляющих ее технологических процессов и систем.

4.3. Наилучшие доступные технологии обеспечения энергоэффективности энергопотребляющих систем, технологических процессов, видов деятельности и оборудования

Введение

В разделе 4.2.2.3 подчеркивается важность *рассмотрения установки как целого и оценки потребностей и способов применения составляющих ее систем, их энергопотребления и способов их взаимодействия.* В описании НДТ 7 приведены примеры типичных систем, входящих в состав установок.

В разделе 4.2 приведены универсальные НДТ, применимые к любым системам, технологическим процессам и вспомогательным видам деятельности. К этим НДТ относятся:

- анализ системы и ее результативности, в т.ч. сравнительный анализ (бенчмаркинг) (НДТ 1, 3, 4, 8 и 9);
- планирование мероприятий и инвестиций по оптимизации энергоэффективности с учетом экономической целесообразности, а также воздействия на различные компоненты окружающей среды (НДТ 2);
- в случае новых систем – оптимизация энергоэффективности при проектировании установки, производственной единицы или системы, а также при выборе технологических процессов (НДТ 10);
- в случае существующих систем – оптимизация энергоэффективности системы за счет ее оптимальной эксплуатации и менеджмента, включая мониторинг и техническое обслуживание (НДТ 14, 15 и16).

Поэтому при описании НДТ в настоящем разделе предполагается, что перечисленные выше универсальные НДТ также применяются к обсуждаемым системам в рамках оптимизации последних.

4.3.1. Сжигание

Сжигание топлива представляет собой процесс, широко используемый как для непосредственного нагрева (например, при производстве цемента или стали), так и с целью получения энергии для дальнейшего преобразования в другую форму, (например, при производстве пара для последующей генерации электроэнергии). Поэтому методы повышения энергоэффективности при сжигании, применяемом в рамках основного технологического процесса, рассматриваются в соответствующих отраслевых Справочных документах. Применительно к другим случаям, например, сжиганию топлива в составе вспомогательных видов деятельности, в разделе «Область применения» Справочного документа по крупным топливосжигающим установкам отмечается:

«…к установке потенциально могут быть добавлены меньшие агрегаты, что приведет к появлению одной крупной установки с общей мощностью, превышающей 50 МВт. Это означает, что все виды тепловых энергоустановок (например, котлоагрегаты, производящие энергоресурсы для нужд технологического процесса, когенерационные станции, котельные централизованного теплоснабжения), используемые для производства механической или тепловой энергии, подпадают под действие настоящего Справочного документа [по крупным топливосжигающим установкам]»…

17. НДТ состоит в оптимизации энергоэффективности сжигания топлива при помощи таких методов, как:

- специфичные для конкретных отраслей методы, приводимые в отраслевых Справочных документах;
- методы, перечисленные в табл. 4.1.

	Методы для отраслей и видов деятельности, сжигание топлива в которых не охвачено соответствующими отраслевыми Справочными документами				
	Методы, описываемые в LCP BREF (июль 2006 г.), по видам топлива				Методы, описываемые в настоящем документе
	Каменный и бурый уголь	Биомасса и торф	Жидкое топливо	Газообразное топливо	
Предварительная сушка бурого угля	4.4.2				
Газификация угля	4.1.9.1, 4.4.2, 7.1.2				
Сушка топлива		5.1.2, 5.4.2, 5.4.4			
Газификация биомассы		5.4.2 , 7.1.2			
Прессование коры		5.4.2, 5.4.4			
Использование турбодетандеров для утилизации энергии сжатого газа				7.1.1, 7.1.2, 7.4.1, 7.5.1	
Когенерация	4.5.5, 6.1.8	5.3.3, 5.5.4	4.5.5, 6.1.8	7.1.6, 7.5.2	3.4. Когенерация
Усовершенствованный компьютерный контроль за условиями горения с целью сокращения выбросов и увеличения производительности	4.2.1, 4.2.1.9, 4.4.3, 4.5.4	5.5.3	6.2.1, 6.2.1.1, 6.4.2, 6.5.3.1	7.4.2 , 7.5.2	
Использование тепла дымовых газов для централизованного теплоснабжения	4.4.3				
Низкие избытки воздуха горения	4.4.3, 4.4.6	5.4.7	6.4.2, 6.4.5	7.4.3,	3.1.3. Сокращение массового расхода дымовых газов посредством снижения избытка воздуха горения

Снижение температуры дымовых газов	4.4.3		6.4.2		3.1.1: Снижение температуры дымовых газов при помощи: • подбора оптимальных размеров и других характеристик оборудования исходя из требуемой максимальной мощности с учетом расчетного запаса надежности; • интенсификации передачи тепла технологическому процессу посредством увеличения удельного потока тепла, увеличения площади или усовершенствования поверхностей теплообмена; • рекуперация тепла дымовых газов с использованием дополнительного технологического процесса (например, производства пара при помощи экономайзера); • установки подогревателя воздуха или воды (см. 3.1.1.1), или предварительного подогрева топлива при помощи тепла дымовых газов (см. 3.1.1). Следует отметить, что подогрев воздуха может быть необходим, если технологический процесс требует высокой температуры пламени (например, в стекольном или цементном производстве); • очистки поверхностей теплообмена от накапливающейся золы и частиц углерода с целью поддержания высокой теплопроводности. В частности, в конвекционной зоне могут периодически использоваться сажесдуватели. Очистка поверхностей теплообмена в зоне горения, как правило, осуществляется во время остановки оборудования для осмотра и ТО, однако в некоторых случаях используется очистка без остановки (например, в нагревателях на НПЗ).
Снижение концентрации CO в дымовых газах	4.4.3		6.4.2		
Аккумуляция тепла			6.4.2	7.4.2	

Отведение дымовых газов через градирню	4.4.3		6.4.2		
Различные решения для системы охлаждения (см. BREF по промышленным системам охлаждения)	4.4.3		6.4.2		
Предварительный подогрев топливного газа за счет отходящего тепла				7.4.2	3.1.1. Снижение температуры дымовых газов посредством: организации подогрева топлива за счет тепла дымовых газов
Предварительный подогрев воздуха горения за счет отходящего тепла				7.4.2	3.1.1. Снижение температуры дымовых газов посредством: организации подогрева воздуха горения за счет тепла дымовых газов (см. раздел 3.1.1.1). Следует отметить, что подогрев воздуха может быть необходим, если технологический процесс требует высокой температуры пламени (например, в стекольном или цементном производстве).
Рекуперативные и регенеративные горелки					3.1.2
Автоматизированное управление горелками					3.1.4
Выбор топлива					3.1.5
Кислородное сжигание					3.1.6
Снижение потерь при помощи теплоизоляции					3.1.7
Сокращение потерь через отверстия печей					3.1.8
Сжигание в кипящем слое	4.1.4.2	5.2.3			

Таблица 4.1: Методы повышения энергоэффективности систем сжигания топлива

4.3.2. Паровые системы

Пар широко используется в качестве теплоносителя вследствие своего нетоксичного характера, стабильности, низкой стоимости, высокой теплоемкости и гибкости применения. Эффективности использования произведенного пара часто не уделяется должного внимания, поскольку оценить ее количественно на так просто, как, например, тепловой КПД котла. Эффективность использования пара может быть оценена при помощи инструментов, перечисленных в НДТ 5, в сочетании с адекватным мониторингом (см. раздел 2.10).

18. НДТ для паровых систем состоит в оптимизации их энергоэффективности при помощи таких методов, как:

- специфичные для конкретных отраслей методы, приводимые в отраслевых Справочных документах;
- методы, перечисленные в табл. 4.2.

Технические методы для отраслей и видов деятельности, в которых применение паровых систем не охвачено соответствующими отраслевыми Справочными документами		
Методы, предлагаемые в настоящем документе, с указанием разделов		
Метод	**Преимущества**	**Раздел**
Проектирование и конструктивные решения		
Энергоэффективное проектирование и монтаж парораспределительной сети	Оптимизация энергосбережения	2.3
Дросселирование и использование турбодетандеров. (Использование турбодетандеров вместо традиционных дросселей и редукционных клапанов)	Более энергоэффективный метод снижения давления пара при наличии потребности в паре низкого давления	3.2.3
Эксплуатация и управление технологическим процессом		
Совершенствование эксплуатационных процедур и методов управления технологическим процессом	Оптимизация энергосбережения	3.2.4
Каскадное управление группой котлов (при наличии нескольких котлов на предприятии)	Оптимизация энергосбережения	3.2.4
• Установка отсекающих заслонок на газоходах дымовых газов (при наличии нескольких котлов, использующих одну и ту же дымовую трубу)	Оптимизация энергосбережения	3.2.4
Производство пара		
Предварительный подогрев питательной воды с помощью: • отходящего тепла, например, от других технологических процессов; • экономайзера, использующего дымовые газы; • подогрева конденсата за счет деаэрированной питательной воды; • конденсации пара, использованного для деаэрации, и подогрева поступающей в деаэратор воды при помощи теплообменника.	Утилизация тепла дымовых газов и возвращение его в производственный процесс посредством подогрева питательной воды	3.2.5 3.1.1
Предотвращение образования и удаление отложений накипи с теплообменных поверхностей. (Очистка теплообменных поверхностей котла)	Более эффективная передача тепла от продуктов горения пару	3.2.6
Минимизация величины продувки котла посредством улучшения водоподготовки. Установка автоматизированной системы контроля общего содержания растворенных твердых веществ	Снижение общего содержания растворенных твердых веществ в питательной воде, что позволяет сократить величину продувки и потери энергии	3.2.7
Установка/восстановление футеровки котла	Снижение потерь тепла от котла, повышение (восстановление) КПД	2.10.1 2.9
Оптимизация расхода пара в деаэраторе	Минимизация непроизводительных потерь пара	3.2.8
Минимизация потерь, связанных с работой короткими циклами	Оптимизация энергосбережения	3.2.9
Техническое обслуживание котлов		2.9
Распределение		
Оптимизация парораспределительной системы (в особенности, в отношении вопросов, перечисленных ниже)		2.9, 3.2.10
Отключение неиспользуемых паропроводов	Минимизация непроизводительных потерь пара, а также потерь энергии от паропроводов и поверхностей оборудования	3.2.10
Теплоизоляция паропроводов и конденсатопроводов (включая фитинги, клапаны и резервуары)	Снижение потерь энергии от паропроводов и поверхностей оборудования	3.2.11

Реализация программы контроля состояния кондесатооводчиков и их ремонта	Сокращение объемов пара, проникающего в систему возврата конденсата, содействие эффективному функционированию теплообменного оборудования на стороне конечного потребителя. Минимизация потерь пара.	3.2.12
Утилизация и повторное использование		
Сбор конденсата и возврат в котел для повторного использования. (Оптимизация использования конденсата)	Утилизация тепловой энергии конденсата и сокращение объемов подпиточной воды, что позволяет снизить затраты энергии и конденсата на водоподготовку	3.2.14
Повторное использование выпара. (Использование конденсата высокого давления для производства пара низкого давления)	Утилизация энергии возвратного конденсата	3.2.14
Утилизация энергии продувочной воды котла	Возврат тепловой энергии продувочной воды в систему, что позволяет снизить потери	3.2.15

Технические методы для отраслей и видов деятельности, в которых применение паровых систем не охвачено соответствующими отраслевыми Справочными документами				
Методы, описываемые в LCP BREF (июль 2006 г.), по видам топлива, с указанием разделов				
Метод	**Раздел**			
	Каменный и бурый уголь	Биомасса и торф	Жидкое топливо	Газообразное топливо
Использование турбодетандеров для утилизации энергии сжатого газа				7.4.1, 7.5.1
Замена лопаток турбин	4.4.3	5.4.4	6.4.2	
Использование высокотехнологичных материалов для достижения повышенных параметров пара	4.4.3		6.4.2	7.4.2
Суперсверхкритические параметры пара	4.4.3, 4.5.5		6.4.2	7.1.4
Промежуточный перегрев пара	4.4.3, 4.5.5		6.4.2, 6.5.3.1	7.1.4, 7.4.2, 7.5.2
Регенеративный подогрев питательной воды	4.2.3, 4.4.3	5.4.4	6.4.2	7.4.2
Использование тепла дымовых газов для централизованного теплоснабжения	4.4.3			
Аккумуляция тепла			6.4.2	7.4.2
Управление газовой турбиной и последующими теплоутилизационными котлами с помощью усовершенствованной АСУ ТП				7.4.2

Таблица 4.2. Методы повышения энергоэффективности паровых систем

4.3.3. Утилизация тепла

Основные типы систем утилизации тепла описаны в разделе 3.3:

- теплообменники (см. раздел 3.3.1);
- тепловые насосы (см. раздел 3.3.2).

Теплообменники широко используются в различных отраслях промышленности и производственных системах с хорошими результатами. В частности, они являются распространенным средством реализации НДТ 5 и НДТ 11. Тепловые насосы получают все более широкое применения.

Использование «сбросного» или избыточного тепла может быть более устойчивым, чем производство тепла на основе ископаемого топлива, даже если в последнем случае достигается больший уровень энергоэффективности.

Утилизация тепла неприменима при отсутствии спроса, отвечающего характеристикам производства (в т. ч. временному графику). Однако утилизация тепла применяется все чаще; при этом во многих случаях удается найти потребителя за пределами установки (см. раздел 3.4 и Приложение 7.10).

Методы, применимые к системам охлаждения, и соответствующие НДТ, включая методы технического обслуживания теплообменников, описаны в Справочном документе по промышленным системам охлаждения.

19. НДТ состоит в поддержании КПД теплообменников при помощи всех перечисленных ниже методов:

a. периодический мониторинг КПД теплообменников;

b. предотвращение загрязнения теплообменных поверхностей или их очистка.

См. раздел 3.3.1.1.

4.3.4. Когенерация

В ЕС существует значительный интерес к когенерации, поддержанный на уровне Сообщества посредством принятия Директивы 2004/8/ЕС о развитии когенерации и Директивы 2003/96/ЕС о налогообложении энергии, а на национальном уровне – при помощи различных политических инструментов и инициатив. В настоящее время даже относительно небольшие когенерационные станции могут быть рентабельными; кроме того, действуют различные схемы стимулирования, облегчающие развитие когенерации. Во многих случаях системы когенерации успешно внедряются благодаря поддержке местных органов власти. См. раздел 3.4, а также Приложения 7.10.3 и 7.10.4.

Моделирование использования энергоресурсов, описанное в разделе 2.15.2, может способствовать оптимизации систем генерации электроэнергии и утилизации тепла, а также организации эффективного управления закупками и продажами энергии.

20. НДТ состоит в поиске возможностей для когенерации; при этом потребители могут находиться в пределах установки или за ее пределами (третья сторона).

Применимость: Обеспечение сотрудничества третьих сторон и соглашений с ними может находиться за пределами возможностей оператора и, как следствие, за пределами условий разрешения КПКЗ.

Целесообразность осуществления проектов когенерации определятся не только возможным повышением уровня энергоэффективности в результате таких проектов, но и экономическими условиями. Следует осуществлять поиск потенциальных партнеров и потребителей производимых энергоресурсов, уделяя внимание возможностям, связанным, в частности, с осуществлением инвестиционных проектов на стороне производителя и потенциального потребителя, а также изменением экономический условий (например, цен на тепло или топливо).

В целом, возможность когенерации целесообразно рассматривать в тех случаях, когда:

- *существуют потребности как в тепловой, так и в электрической энергии, причем временные графики этих потребностей имеют сходный характер;*
- *существующие потребности в тепле, имеющиеся на предприятии или за его пределами, с учетом их характеристик (необходимое количество тепла, температура, время, в течение которого необходимы поставки тепла), могут быть удовлетворены за счет тепла, производимого на когенерационной станции, и при этом не ожидается существенного сокращения потребностей в тепле.*

В разделе 3.4 обсуждаются вопросы, связанные с когенерацией, включая различные типы когенерационных установок и их применимость в тех или иных конкретных условиях.

Успешная реализация когенерационных проектов может зависеть от благоприятного сочетания цен на топливо, тепло и электроэнергию. Во многих случаях государственные органы местного, регионального или национального уровня оказывают содействие в заключении соглашений о сбыте энергоресурсов или сами выступают в качестве третьей стороны.

4.3.5. Электроснабжение

Качество электроснабжения и способ использования энергии способны повлиять на уровень энергоэффективности (см. раздел 3.5). Механизмы этого влияния не всегда осознаются; часто им не уделяется должного внимания. Во многих случаях имеют место потери, связанные с передачей избыточной мощности по внешним распределительным сетям или в пределах установки. Потери энергии в распределительной системе предприятия могут приводить к перепадам напряжения, которые, в свою очередь, могут вызывать преждевременный выход из строя электродвигателей или другого оборудования. Кроме того, неоптимальное функционирование энергосистем предприятия способно привести к применению повышенных тарифов на электроэнергию.

21. НДТ состоит в повышении коэффициента мощности в соответствии с требованиями местного поставщика электроэнергии при помощи методов, подобных перечисленным в табл. 4.3, в соответствии с условиями их применимости (см. раздел 3.5.1).

Метод	Применимость
Установка конденсаторов в цепях переменного тока для компенсации коэффициента мощности	Во всех случаях. Малозатратное мероприятие с долгосрочным эффектом, однако его осуществление требует соответствующей квалификации
Минимизация работы двигателей на холостом ходу или со значительной недогрузкой	Во всех случаях
Эксплуатация оборудования при напряжении, не превышающем номинального	Во всех случаях
При замене электродвигателей – использование энергоэффективных двигателей (см. раздел 3.6.1)	При замене оборудования

Таблица 4.3: Методы компенсации коэффициента мощности с целью повышения энергоэффективности

22. НДТ состоит в проверке системы энергоснабжения на наличие высших гармоник и, при необходимости, использовании фильтров (см. раздел 3.5.2).

23. НДТ состоит в оптимизации эффективности системы электроснабжения установки при помощи методов, перечисленных в табл. 4.4, в соответствии с условиями их применимости:

Метод	Применимость	Раздел настоящего документа
Обеспечение достаточного диаметра кабелей, соответствующего мощности	Когда энергопотребляющее оборудование не используется, например, во время остановов, установки или перемещения оборудования	3.5.3
Эксплуатация трансформаторов при достаточной нагрузке (превышающей 40–50% номинальной мощности)	• для существующих предприятий: при нагрузке ниже 40% номинальной мощности и одновременной работе нескольких трансформаторов; • при замене оборудования: установка трансформатора с пониженным уровнем потерь и ожидаемым уровнем нагрузки 40–75% номинальной мощности;	3.5.4
Использование трансформаторов с повышенным КПД/пониженным уровнем потерь	При замене оборудования или если оправдано с точки зрения затрат за время жизненного цикла	3.5.4
Размещение оборудования, требующего большой силы тока, как можно ближе к источникам питания (например, трансформаторам)	При размещении или перемещении оборудования	3.5.4

Таблица 4.4. Методы оптимизации системы электроснабжения с целью повышения энергоэффективности

4.3.6. Подсистемы с электроприводом[45]

Электродвигатели широко применяются в промышленности. Замена существующих двигателей на энергоэффективные двигатели (ЭЭД) и двигатели с переменной скоростью представляет собой один из наиболее очевидных способов повышения энергоэффективности. Однако эти мероприятия должны осуществляться в контексте оптимизации всей системы, в состав которой входят двигатели. В противном случае существует риск:

- неиспользования потенциала оптимизации характеристик системы в целом, включая ее производительность, что позволило бы оптимизировать требования к мощности двигателей;
- потерь энергии в случае применения приводов с переменной скоростью в неподходящих условиях.

К основным системам, в которых используются электродвигатели, относятся:

- системы сжатого воздуха (см. раздел 3.7);
- насосные системы (см. раздел 3.8);
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ, см. раздел 3.9);
- системы охлаждения (см. Справочный документ по промышленным системам охлаждения).

24. НДТ состоит в осуществлении мероприятий по оптимизации систем с электроприводом в следующей последовательности (см. раздел 3.6):

1. оптимизация системы, использующей электродвигатели, как целого (например, системы охлаждения, см. раздел 1.5.1);

2. оптимизация электродвигателей, входящих в состав системы, на основе вновь определенных требований к мощности с использованием одного или нескольких методов, перечисленных в табл. 4.5, в соответствии с условиями применимости:

Метод повышения энергоэффективности	Применимость	Раздел настоящего документа[1]
Установка или модернизация системы		
Использование энергоэффективных двигателей	С учетом затрат за время жизненного цикла	3.6.1
Выбор оптимальной номинальной мощности двигателя	С учетом затрат за время жизненного цикла	3.6.2
Установка приводов с переменной скоростью (ППС)	Использование ППС может быть ограничено вследствие соображений безопасности. В соответствии с нагрузкой. При наличии нескольких двигателей в системе, от которой требуется переменная производительность, (например, в системе сжатого воздуха) оптимальным может быть использование только одного привода с переменной скоростью	3.6.3
Установка передачи/редукторов с высоким КПД	С учетом затрат за время жизненного цикла	3.6.4

[45] В настоящем документе под «системой» понимается совокупность взаимосвязанных компонентов или устройств, действующих совместно для выполнения определенной функции (например, системы вентиляции или сжатого воздуха). См. обсуждение вопроса о границах системы в разделах 1.3.5 и 1.5.1. В состав систем часто входят подсистемы (или меньшие системы-компоненты) с электроприводом.

Использование: • жесткого соединения там, где это возможно; • синхронных или зубчатых ременных передач вместо обычных клиновидных; • косозубой цилиндрической передачи вместо червячной	Все системы	3.6.4
Ремонт двигателя с обеспечением энергоэффективности или замена на ЭЭД	При проведении ремонта	3.6.5
Перемотка: отказ от перемотки и замена на ЭЭД, или обращение к сертифицированной организации, осуществляющей ремонт с обеспечением энергоэффективности	При проведении ремонта	3.6.6
Контроль качества электроснабжения	С учетом затрат за время жизненного цикла	3.5
Эксплуатация и ТО системы		
Смазка, регулировка, настройка	Все системы	2.9
[1]Примечание: Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды и применимости, а также экономические аспекты обсуждаются в разделе 3.6.7		

Таблица 4.5: Методы повышения энергоэффективности электродвигателей

3. после оптимизации энергопотребляющих систем, оптимизация оставшихся (неоптимизированных) двигателей с использованием методов, перечисленных в табл. 4.5 и следующих критериев:

i. оставшиеся двигатели, эксплуатируемые более 2000 часов в год, являются приоритетными для замены на ЭЭД;

ii. для приводов, эксплуатируемых с переменной нагрузкой, функционирующих с мощностью менее 50% максимальной более 20% времени эксплуатации, время работы которых превышает 2000 часов в год, следует рассмотреть возможность замены приводами переменной скорости.

4.3.7. Системы сжатого воздуха

Сжатый воздух широко применяется как компонент технологических процессов, а также в качестве энергоносителя, энергия которого легко преобразуется в механическую. Сжатый воздух особенно часто используется там, где существует риск взрыва, возгорания и т.д. При применении сжатого воздуха в качестве неотъемлемого компонента технологического процесса (например, для производства азота с целью создания инертной атмосферы, а также дутья, литья или перемешивания) во многих случаях оценка КПД его использования затруднительна. Иногда применение сжатого воздуха может иметь низкий КПД, например, при использовании небольших сборочных инструментов с пневмоприводом. В таких случаях можно рассмотреть возможность смены типа привода (см. раздел 3.7), если этому не препятствуют соображения здоровья и безопасности на производстве.

25. НДТ состоит в оптимизации систем сжатого воздуха при помощи методов, перечисленных в табл. 4.6, в соответствии с условиями применимости:

Метод	Применимость	Раздел настоящего документа
Проектирование, установка или модернизация системы		
Оптимизация общего устройства системы, включая использование нескольких уровней давления	Новая система или значительная модернизация	3.7.1
Модернизация компрессора	Новая система или значительная модернизация	3.7.1

Улучшение процессов охлаждения, сушки и фильтрации сжатого воздуха	Этот метод не включает более частую замену фильтров (см. ниже)	3.7.1
Сокращение фрикционных потерь давления (например, посредством увеличения диаметра трубопроводов)	Новая система или значительная модернизация	3.7.1
Усовершенствование приводов компрессоров (высокоэффективные двигатели)	Наиболее эффективно в небольших системах (<10 кВт)	3.7.2, 3.7.3, 3.6.4
Усовершенствование приводов компрессоров (регулирование скорости)	Применимо в системах с переменной нагрузкой. В системах с несколькими приводами целесообразно оборудовать устройством регулирования скорости лишь один из них.	3.7.2
Использование усовершенствованной системы управления		3.7.4
Утилизация отходящего тепла для других применений	Этот метод приводит к увеличению общего количества доступной энергии, но не к сокращению потребления электроэнергии (часть электроэнергии преобразуется в полезное тепло)	3.7.5
Организация забора холодного наружного воздуха	При наличии доступа	3.7.8
Создание запасов сжатого воздуха вблизи крупных потребителей с существенно варьирующим уровнем потребления	Все системы	3.7.10
Эксплуатация и ТО системы		
Оптимизация некоторых конечных устройств	Все системы	3.7.1
Сокращение утечек воздуха	Все системы. Наибольшей потенциал энергосбережения	3.7.6
Более частая замена фильтров	Рассмотреть целесообразность во всех случаях	3.7.7
Оптимизация рабочего давления	Все системы	3.7.9

Таблица 4.6: Методы повышения энергоэффективности систем сжатого воздуха

4.3.8. Насосные системы

Энергопотребление насосных систем может быть снижено на 30-50% за счет замены оборудования или системы управления (см. раздел 3.8).

К электроприводам насосных систем применима НДТ 24. Однако использование приводов с переменной скоростью (один из важнейших методов оптимизации энергоэффективности насосных систем) упоминается также в табл. 4.7.

26. НДТ состоит в оптимизации насосных систем сжатого воздуха при помощи методов, перечисленных в табл. 4.7, в соответствии с условиями применимости (см. раздел 3.8):

Метод	Применимость	Раздел настоящего документа	Доп. сведения
Проектирование			
Выбор насосов оптимальной мощности при установке нового оборудования и замена насосов с избыточной мощностью	Новые насосы: во всех случаях Существующие насосы: если оправдано с точки зрения затрат за время жизненного цикла	3.8.1, 3.8.2	Избыточная мощность насосов – крупнейший источник непроизводительных затрат энергии в насосных системах
Подбор приводов надлежащей мощности к выбранным насосам	Новые насосы: во всех случаях Существующие насосы: если оправдано с точки зрения затрат за время жизненного цикла	3.8.2, 3.8.6	

Проектирование трубопроводных систем (см. «Распределительная система» ниже)		3.8.3	
Управление, эксплуатация и ТО			
Система управления и регулирования	Во всех случаях	3.8.5	
Отключение насосов, в работе которых нет необходимости	Во всех случаях	3.8.5	
Использование приводов с переменной скоростью	С учетом затрат за время жизненного цикла. Нецелесообразно при постоянных расходах	3.8.5	См. НДТ 24 в разделе 4.3.6
Использование нескольких насосов (поэтапное задействование мощностей по мере необходимости)	Если обычный расход в системе более чем в два раза меньше требуемой максимальной производительности	3.8.5	
Регулярное ТО. При наличии необходимости в слишком частом внеплановом ТО, проверка на предмет: - кавитации; - износа; - использования неподходящих типов насосов		3.8.4	
Распределительная система			
Доведение количества вентилей и изгибов до минимального значения, совместимого с удобной эксплуатацией и ТО системы	Во всех случаях при проектировании и установке (а также ремонте и модернизации). Могут потребоваться консультации квалифицированных специалистов	3.8.3	
Недопущение слишком большого количества изгибов (в особенности, крутых)	Во всех случаях при проектировании и установке (а также ремонте и модернизации). Могут потребоваться консультации квалифицированных специалистов	3.8.3	
Обеспечение достаточного (не слишком маленького) диаметра трубопроводов	Во всех случаях при проектировании и установке (а также ремонте и модернизации). Могут потребоваться консультации квалифицированных специалистов	3.8.3	

Таблица 4.7: Методы повышения энергоэффективности насосных систем

Следует отметить, что управление производительностью при помощи дросселирования связано с меньшими потерями энергии, чем управление при помощи перепусков или полное отсутствие управления. Однако все эти методы сопряжены с непроизводительными затратами энергии, и следует рассмотреть возможности их замены с учетом производительности соответствующего насоса или частоты его использования.

4.3.9. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ)

В состав типичной системы ОВКВ входит оборудование, выполняющее все или некоторые из функций, перечисленных ниже:

- производство тепла (котлы, см. раздел 3.2; тепловые насосы, см. раздел 3.3.2 и т.д.)
- производство холода (см. раздел 3.3);
- насосы (см. раздел 3.8);
- теплообменники (см. раздел 3.3.1), передающие тепло системам и технологическим процессам или отводящие от них тепло;
- отопление или охлаждение помещений (см. раздел 3.9.1);
- вытяжная или приточная вентиляция с целью подачи воздуха к теплообменникам или от них и/или из окружающей среды или в окружающую среду (см. раздел 3.9.2).

По данным исследований, около 60% энергопотребления системы ОВКВ приходится на чиллер или тепловой насос, а оставшиеся 40% – на периферийные устройства. Кондиционирование воздуха широко применяется на предприятих Европы, в особенности, на юге континента.

Вентиляция играет важную роль в функционировании многих промышленных предприятий. Она позволяет

- защищать персонал от воздействия загрязняющих веществ и избыточного тепла, образующихся в процессе производства;
- поддерживать в производственных помещениях чистую атмосферу, необходимую для обеспечения надлежащего качества продукции.

Требования к вентиляции могут диктоваться соображениями охраны труда и производственной безопасности, а также потребностями технологических процессов (см. раздел 3.9).

27. НДТ состоит в оптимизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха при помощи следующих методов:

- для вентиляции, отопления и охлаждения помещений – методов, перечисленных в таблице 4.8, в соответствии с условиями применимости;
- для производства тепла – см. разделы 3.2 и 3.3.1, а также НДТ 18 и 19;
- для насосных систем – см. раздел 3.8 и НДТ 26;
- для производства холода, чиллеров и теплообменников – см. Справочный документ по промышленным системам охлаждения, а также раздел 3.3 и НДТ 19 в настоящем документе.

Метод	Применимость	Раздел настоящего документа
Проектирование и управление		
Общее устройство системы. Выбрать и оборудовать по отдельности участки, обслуживаемые: - общеобменной вентиляцией; - местной вентиляцией; - технологической вентиляцией	Новая система или значительная модернизация. В существующей системе – с учетом затрат за время жизненного цикла	3.9.1, 3.9.2.1
Оптимизация количества, формы и размера воздухозаборников	Новая система или модернизация	3.9.2.1
Использование вентиляторов: - с высоким КПД; - имеющих оптимум эффективности при требуемой производительности	Экономически эффективно во всех случаях	3.9.2.1, 3.9.2.2

Эффективное управление расходом воздуха (в т.ч. рассмотрение вопроса о целесообразности приточно-вытяжной вентиляции)	Новая система или значительная модернизация	3.9.2.1
Устройство системы воздуховодов: - воздуховоды достаточного диаметра; - воздуховоды круглого сечения; - отсутствие передачи воздуха на большие расстояния, а также препятствий для движения воздуха (крутых изгибов, сужений и т.д.)	Новая система или значительная модернизация	3.9.2.1
Оптимизация электродвигателей, рассмотрение возможности для установки приводов переменной скорости	Во всех случаях. Целесообразность замены существующих двигателей – с учетом сокращения затрат за время жизненного цикла	3.9.2.1, 3.9.2.2, 3.6, 3.6.3, 3.6.7 и НДТ 24
Использование автоматизированной системы управления. Интеграция с централизованной системой управления техническими службами здания	Новая система или значительная модернизация – во всех случаях. В существующих системах – если технически осуществимо и экономически целесообразно	3.9.2.1, 3.9.2.2
Интеграция воздушных фильтров в систему воздуховодов и утилизация тепла отводимого воздуха (теплообменники)	Новая система или значительная модернизация. Существующая система – с учетом экономического эффекта за время жизненного цикла. Следует принять во внимание следующие вопросы: тепловой КПД, потеря давления, необходимость регулярной очистки фильтров и теплообменных поверхностей	3.9.2.1, 3.9.2.2
Сокращение потребностей в отоплении/охлаждении посредством: - теплоизоляции зданий; - эффективного остекления; - ограничения инфильтрации воздуха; - автоматического закрытия дверей; - дестратификации; - задания пониженного уровня температуры в нерабочее время (посредством программирования системы управления); - уменьшения (для отопления) или увеличения (для охлаждения) заданного уровня температуры	Рассмотреть возможность во всех случаях. Реализация – в случае экономической целесообразности	3.9.1
Повышение энергоэффективности систем отопления посредством: - утилизации и использования отходящего тепла (см. раздел 3.3.1); - - использования тепловых насосов; - применения лучистых и локальных систем отопления в сочетании с пониженной температурой в помещениях, где отсутствуют рабочие места	Рассмотреть возможность во всех случаях. Реализация – в случае экономической целесообразности	3.9.1
Повышение энергоэффективности систем охлаждения за счет использования естественного охлаждения	Применимо при определенных условиях	3.9.3
Эксплуатация и ТО		
Отключение вентиляции и сокращение расхода воздуха там, где это возможно	Во всех случаях	3.9.2.2
Обеспечение герметичности системы, проверка соединений	Во всех случаях	3.9.2.2
Проверка сбалансированности системы	Во всех случаях	3.9.2.2
Оптимизация расхода воздуха	Во всех случаях	3.9.2.2

Оптимизация системы фильтрации воздуха за счет: - оптимизации степени рецикла; - оптимизации потери давления; - регулярной очистки/замены фильтров; - регулярной очистки системы	Во всех случаях	3.9.2.2

Таблица 4.8: Методы повышения энергоэффективности систем отопления, вентиляции и сжатого воздуха

4.3.10. Освещение

Соображения охраны труда и производственной безопасности являются приоритетными критериями при определении требований к системам освещения. Энергопотребление систем освещения может быть оптимизировано с учетом требований к конкретной системе (см. раздел 3.10).

28. НДТ состоит в оптимизации систем искусственного освещения с использованием таких методов, как перечисленные в таблице 4.9, в соответствии с условиями применимости (см. раздел 3.10):

Метод	Применимость
Анализ требований и проектирование системы	
Выявление требований как к уровню освещенности, так и к спектральному составу освещения, исходя из выполняемых функций	Во всех случаях
Планирование использования площадей и организации производственной деятельности для оптимизации использования естественного освещения	В той мере, в какой это может быть достигнуто за счет простой реорганизации производственной деятельности или ТО – во всех случаях. Если требуются строительные работы или реконструкция зданий – при строительстве новых или модернизации существующих установок
Выбор осветительных устройств и ламп, исходя из предполагаемого использования	С учетом экономического эффекта за все время жизненного цикла
Эксплуатация, управление и ТО	
Использование систем управления освещением, включая датчики присутствия, таймеры и т.п.	Во всех случаях
Обучение персонала наиболее эффективному использованию осветительного оборудования	Во всех случаях

Таблица 4.9: Методы повышения энергоэффективности осветительных систем

4.3.11. Процессы сушки, сепарации и концентрирования

Сепарация (как правило, разделение твердой и жидкой фракций) может осуществляться в одну или несколько ступеней. Оптимизация этапов процесса, необходимых для получения требуемой продукции, позволяет достичь значительного энергосбережения. Для оптимизации энергоэффективности может использоваться сочетание двух или более методов сушки, сепарации и концентрирования (см. раздел 3.11).

29. НДТ состоит в оптимизации процессов сушки, сепарации и концентрирования при помощи методов, перечисленных в таблице 4.10, в соответствии с условиями применимости, и в поиске возможностей для использования механической сепарации в сочетании с процессами термической сушки:

Метод	Применимость	Дополнительная информация	Раздел настоящего документа
Проектирование			
Выбор оптимального метода сепарации (сушки) или сочетания методов (см. ниже), отвечающих конкретным требованиям	Во всех случаях	3.11.1	
Эксплуатация			
Использование избыточного тепла от других процессов	Зависит от наличия избыточного тепла на предприятии (или поставляемого третьей стороной)	Сушка – хорошее применение для избыточного тепла	3.11.1
Использование сочетания методов	Рассмотрение возможности во всех случаях	Может быть сопряжено и с другими выгодами, например, повышением качества продукции или производительности	3.11.1
Использование механических процессов сепарации, например, фильтрации или мембранной фильтрации	Зависит от конкретных требований. Для достижения высокой степени осушки с максимальными энергозатратами целесообразно использовать в сочетании с другими методами	Энергопотребление может быть на несколько порядков величины ниже, чем при использовании других методов, но одна лишь фильтрация не позволяет достичь высокой степени осушки	3.11.2
Термическая сушка, например: - конвективные сушилки; - контактные сушилки; - комбинированные сушилки	Широко применяется, но энергозатраты могут быть снижены за счет использования других методов, приводимых в этой таблице	Использование конвективных сушилок может быть наименее энергоэффективным вариантом	3.11.3, 3.11.3.1 3.11.3.2, 3.11.3.3, 3.11.3.6
Конвективная сушка	См. методы термической и радиационной сушки, а также использование перегретого пара	Использование конвективных сушилок может быть наименее энергоэффективным вариантом	3.11.3.2
Перегретый пар	Любые конвективные сушилки могут быть переоборудованы для использования перегретого пара. Высокие затраты, требуется оценка экономического эффекта за время жизненного цикла. Высокие температуры могут быть вредными для продукции	Тепло, отходящее от этого процесса, может быть утилизировано	3.11.3.4

Утилизация тепла (в т.ч. с использованием МРП и тепловых насосов)	Заслуживает рассмотрения в случае практически любой конвективной сушилки непрерывного действия, использующей горячем воздухе	3.11.1, 3.11.3.5, 3.11.3.6	
Оптимизация теплоизоляции сушильных систем	Заслуживает рассмотрения для любых систем, в т.ч. существующих		3.11.3.7
Радиационная сушка, например: инфракрасная (ИК); высокочастотная (ВЧ); микроволновая (МВ)	Может быть легко внедрена в существующий технологический процесс. Непосредственное подведение энергии к высушиваемому материалу. Компактное оборудование, отсутствует необходимость отведения больших объемов сушильного агента. Применение ИК-сушки ограничено размерами высушиваемого материала. Высокие затраты, требуется оценка экономического эффекта за время жизненного цикла.	Более энергоэффективная сушка. В сочетании с конвективными или контактными методами может резко повысить производительность сушильной системы	3.11.4
Управление			
Автоматизированное управление процессом термической сушки	Во всех случаях	Может быть достигнуто сокращение энергопотребления на 5–10% по сравнению с традиционным управлением на основе опыта и эмпирических закономерностей	3.11.5

Таблица 4.10: Методы повышения энергоэффективности систем сушки, сепарации и концентрирования

5. Новые технологии обеспечения энергоэффективности

5.1. Беспламенное сжигание (беспламенное окисление)

Общая характеристика

В последнее время получает распространение такая прогрессивная технология, как использование рекуперативных и регенеративных горелок в сочетании с методами объемного сжигания, обеспечивающими относительно однородное распределение температуры пламени (технология HiTAC – «высокотемпературное сжигание в воздушной атмосфере» – или беспламенное сжигание[46]). Данная технология отличается отсутствием резких пиков температуры, характерных для традиционных методов сжигания, а также существенно увеличенным объемом зоны горения.

Технология беспламенного сжигания представляет собой предельное развитие методов разнесения горения и обеспечения рециркуляции газов в камере сгорания. Принцип действия регенеративных горелок представлен на рис. 5.1.

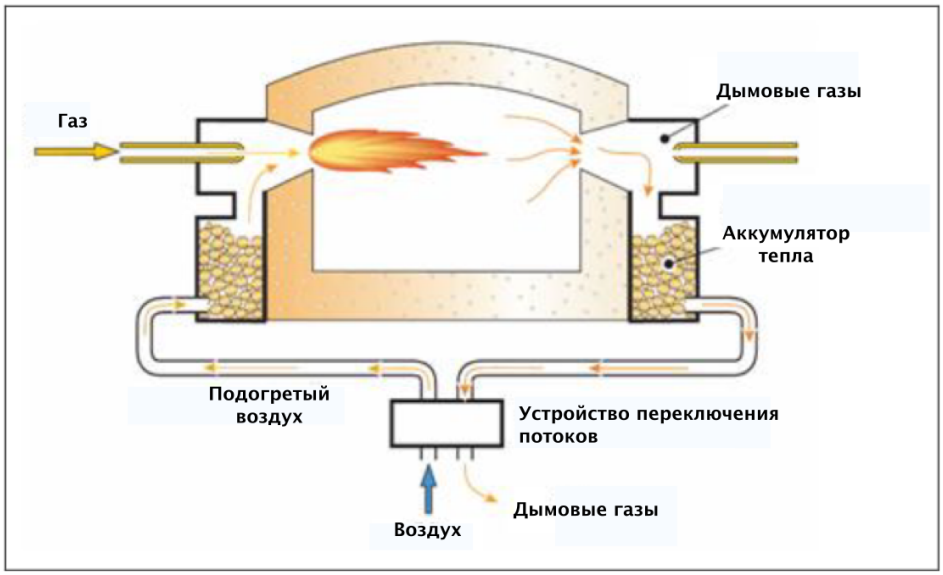


Рисунок 5.1: Принцип действия регенеративных горелок

[277, ADEME]

Существует два типа горелок HiTAC – однопламенные или двухпламенные. В однопламенной горелке имеется одно сопло для подачи топлива, окруженное воздушными соплами и отверстиями для удаления дымовых газов. Пламя формируется вдоль оси топливного сопла во время «холодных» и «горячих» периодов. Поскольку топливо подается через одну и ту же форсунку, пламя все время находится практически в одном и том же положении.

В двухпламенной системе HiTAC имеется пара регенеративных горелок, между которыми осуществляется постоянное переключение с относительно высокой частотой. Горелки размещаются в стенках камеры сгорания и работают поочередно. В то время, когда через одну горелку удаляются дымовые газы, отдавая тепло регенератору (аккумулятору тепла), воздух, поступающий в камеру через действующую горелку, подогревается за счет ранее накопленного в ней тепла. Система клапанов обеспечивает переключение потоков воздуха и дымовых газов с заданной частотой. При этом пламя «перемещается» от одной горелки к другой. Как правило, в камере сгорания используется несколько пар горелок, функционирующих таким образом.

В камеру сгорания поступает воздух, подогретый до высоких температур за счет тепла продуктов сгорания (>1000ºC). В традиционных системах такой подогрев привел бы к крайне высокой локальной температуре пламени и, как следствие, к интенсивному образованию NOx. Однако в

[46] В литературе на русском языке под «беспламенным сжиганием» чаще понимается беспламенное каталитическое сжигание на поверхности, а не объемное сжигание с относительно однородным распределением температуры, о котором идет речь в данном случае. (*Прим. пер.*)

системах беспламенного (объемного) сжигания газообразное топливо и воздух вдуваются в камеру раздельно на высоких скоростях. Геометрия горелок и камеры сгорания в сочетании с высокими скоростями газов приводят к интенсивной циркуляции в камере и, в частности, к притоку продуктов сгорания к действующей горелке. Это приводит к снижению локальных концентраций O_2 и пиковых температур пламени (двух основных факторов образования NOx).

Высокая температура воздуха горения (>1000°C), подогретого в рекуперативной или регенеративной горелке обеспечивает надежное воспламенение и стабильность этого режима горения. При этом реакции горения происходят во всем объеме камеры, и пламя практически невидимо для невооруженного глаза. Одной из основных характеристик этого процесса является относительная однородность температуры и химического состава внутри камеры.

Принцип беспламенного (объемного) окисления может быть реализован при высокотемпературном сжигании (потребность технологического процесса – 800°C) и в отсутствие предварительного подогрева воздуха. В этом случае необходима дополнительная система воспламенения.

Экологические преимущества

По данным испытаний, КПД при использовании горелок HiTAC на 35% превышает величины, достигаемые с использованием традиционных струйных горелок. Еще одним преимуществом систем HiTAC является более высокий коэффициент теплопередачи вследствие более однородного распределения температур. При испытаниях использовался сжиженный нефтяной газ (пропан). Распределение производимой энергии для горелок HiTAC и традиционных горелок представлено на рис. 5.2.

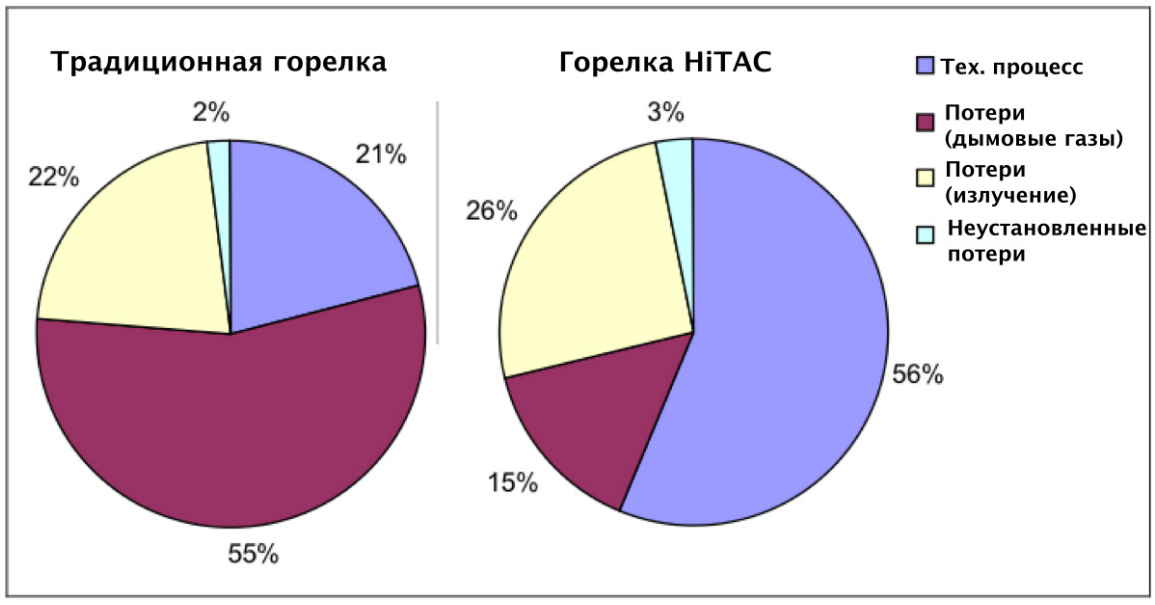


Рисунок 5.2: Распределение производимой энергии для традиционных систем сжигания и горелок HiTAC (по данным испытаний)

[17, Åsbland, 2005]

Благодаря интенсивной циркуляции продуктов сгорания технология беспламенного сжигания позволяет значительно снизить выбросы NOx (<200 мг/Нм^3 при содержании кислорода 3%). Как показано на рис. 5.3, использование этой технологии позволяет избежать резких пиков температуры в камере сгорания. Кроме того, на том же рисунке представлены области, соответствующие различным процессам горения в зависимости от температуры и концентрации кислорода.

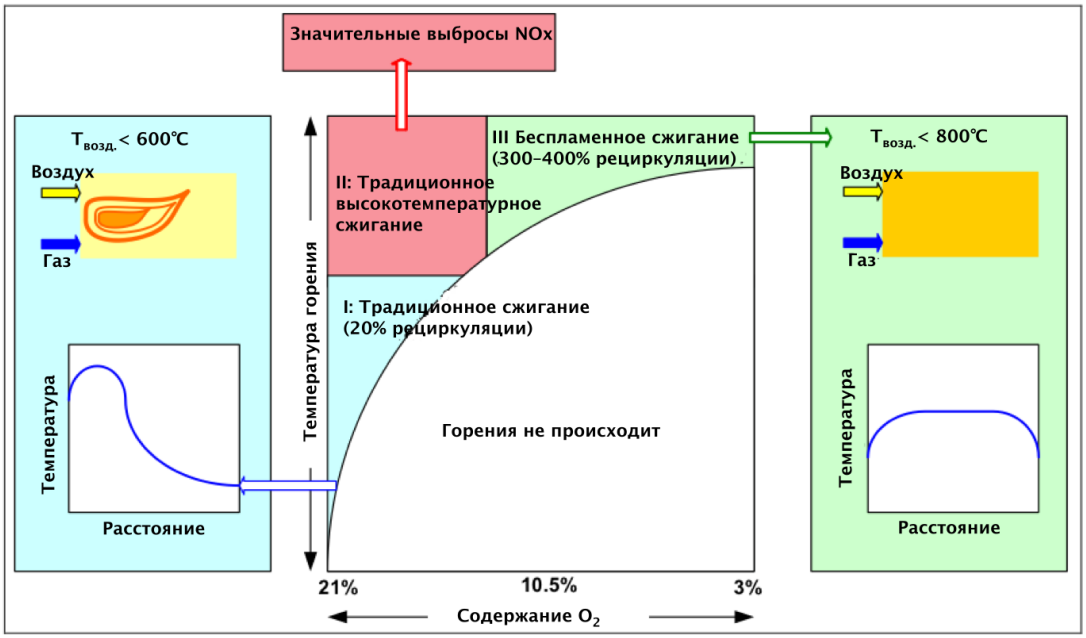


Рисунок 5.3: Условия беспламенного горения

Отсутствие пиков температуры при беспламенном сжигании позволяет достигать больших средних температур в печах без локального перегрева футеровки вблизи горелок. В результате интенсивность передачи тепла к обрабатываемой продукции может быть значительно увеличена, а уровень шума – существенно снижен. Результатом таких условий сжигания является:

- энергосбережение в объеме 9–40%;
- сокращение выбросов NOx на 6–80%.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данных не предоставлено.

Производственная информация

Преимущества использования технологии HiTAC в печах включают:

- высокий КПД использования энергии и, как следствие, сокращение выбросов CO_2;
- меньшие колебания температуры в процессе работы печи;
- меньший объем выбросов NOx и CO;
- меньший уровень шума при работе печи;
- отсутствие потребности в дополнительных энергосберегающих устройствах;
- меньший размер газоходов для дымовых газов;
- более равномерное распределение температуры в объеме печи;
- лучшие условия теплопередачи;
- повышение качества продукции и производительности;
- удлинение срока службы печи и трубопроводов.

В технологии HiTAC используется предварительный подогрев воздуха до очень высоких температур перед высокоскоростным вдуванием в печь. Режим беспламенного объемного горения обеспечивает полное сгорание топлива при очень низких уровнях кислорода. Результатом является более медленное и длительное горение, более низкая максимальная температура горения и более равномерное распределение температур, чем в традиционных печах. Это приводит, в частности, к сокращению выбросов NOx. Пламя в таких печах имеет характерный бледно-зеленый цвет.

Кроме того, данная технология сжигания использует раздельное вдувание воздуха и топлива в печь. Это также обеспечивает лучшие условия функционирования печи и вносит вклад в экономию топлива.

При промышленном применении технологии HiTAC's топливные и воздушные сопла расположены на некотором расстоянии друг от друга. Топливо и горячий воздух вдуваются непосредственно в печь при высоких скоростях. Это создает условия для интенсивного перемешивания газов вблизи горелки и снижения парциального давления кислорода. Стабильность горения топлива, вдуваемого в зону с низким парциальным давлением кислорода, поддерживается в том случае, если температура предварительно подогретого воздуха превышает температуру воспламенения топлива.

В промышленных печах с использованием высокоэффективной регенерации тепла может быть достигнута температура воздуха горения 800–1350°C. Современные регенеративные теплообменники с высокой частотой переключения способны обеспечить утилизацию до 90% отходящего тепла, что создает условия для значительного энергосбережения.

Применимость

Нагревательные печи, потенциально пригодные для внедрения технологии беспламенного сжигания с использованием регенеративных горелок, широко применяются в нескольких отраслях европейской промышленности. Это, в частности, черная металлургия, производство кирпича и черепицы, цветная металлургия, а также литейное производство. Во время подготовки настоящего документа рассматривались также возможности применения данной технологии в небольших стекольных печах. При этом на одну только черную металлургию приходится 5,7% потребления первичной энергии в странах ЕС. Затраты на приобретение энергии составляют значительную часть производственных затрат в перечисленных отраслях.

Данная технология не всегда применима к уже существующим производственным линиям, поскольку конструкция печи должна допускать установку регенеративных горелок. Кроме того, горелки HiTAC весьма чувствительны к чистоте атмосферы: если в печи утилизируется технологический газ со значительным содержанием пыли, применение таких горелок может оказаться невозможным.

Экономические аспекты

Недостатком данной технологии является значительный объем капитальных инвестиций, необходимых для внедрения регенеративных горелок. Тем не менее, во многих случаях период окупаемости не превышает 3–5 лет. Важными факторами, которые должны учитываться при экономических оценках, являются повышение производительности печи и сокращение выбросов оксидов азота.

Мотивы внедрения

Важными факторами является повышение производительности печи и сокращение выбросов оксидов азота.

Примеры

На металлургическом предприятии SSAB Tunnplåt AB в г. Бурленге (Швеция) была установлена одна пара регенеративных горелок HiTAC в нагревательной печи с шагающим балочным подом. В печи общей производительностью 300 т/ч осуществляется подогрев стальных слябов; в качестве топлива используется тяжелый мазут. В регенеративном режиме каждая из двух горелок переключается между режимами сжигания топлива и всасывания отходящих газов с интервалом 60 с.

Горелки HiTAC установлены в зоне предварительного подогрева печи, где ранее не было установлено никаких горелок. За зоной предварительного подогрева расположена основная зона нагрева (зона 2). Мощность новых горелок составляет около 10% общей мощности горелок, установленных в зоне 2. Мощность каждой горелки HiTAC составляет около 2 МВт. Всего в печи установлено 119 горелок.

В результате продолжительной эксплуатации регенеративные горелки, работающие на мазуте, продемонстрировали высокую надежность; потребность в техническом обслуживании горелок была незначительной.

Сравнение с традиционной системой рекуперативных горелок продемонстрировало снижение потребления топлива примерно на 12% вследствие более эффективной утилизации тепла. Мощность регенеративных горелок была подобрана таким образом, чтобы обеспечить увеличение пропускной способности печи примерно на 2 %. Измерения концентрации NOx вблизи горелок продемонстрировали, что эта пара горелок не вносит вклада в увеличение содержания оксидов азота в дымовых газах, составляющего около 150 ppm (при содержании кислорода 4%).

Справочная информация

[17, Åsbland, 2005], [26, Neisecke, 2003], [277, ADEME].

5.2. Сжатый воздух как средство хранения энергии

Общая характеристика

Перспективной технологией создания запасов энергии является сжатие воздуха за счет доступной энергии в то время, когда непосредственная потребность в последней отсутствует. Как правило, для сжатия воздуха используется электроэнергия, передаваемая по сетям во внепиковое время. В дальнейшем запасенный сжатый воздух может быть использован для производства энергии, например, в качестве пикового источника. Для хранения сжатого воздуха часто используются подходящие горные выработки или специально создаваемые подземные емкости в соляных породах.

Экологические преимущества

Зависят от конкретных условий и цели использования. Возможность создания запасов энергии в форме сжатого воздуха может облегчить прием электрическими сетями больших объемов электроэнергии, произведенных ветроустановками, или сократить количество остановов/запусков оборудования на электростанциях.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Если организация такой схемы хранения энергии требует создания специальной подземной емкости, с этим могут быть связаны негативные воздействия на окружающую среду.

Производственная информация

На установках, приводимых ниже в качестве примеров, избыточная электроэнергия из сетей используется для приведения в действие компрессора с электроприводом. Сжатый воздух охлаждается и нагнетается в подземную емкость большого объема. При необходимости запасенный воздух подогревается и подается в модифицированную газовую турбину, в которой энергия сжатого воздуха вместе с энергией, получаемой за счет сжигания топлива, преобразуется в механическую энергию. Генератор, приводимый в движение турбиной, производит электроэнергию, которая вновь поставляется в сети.

Применимость

В настоящее время существуют две крупные установки такого рода. Хранение энергии при помощи сжатого воздуха представляет собой скорее метод управления энергоресурсами, чем способ повышения энергоэффективности, поскольку этот подход позволяет разнести во времени производство и потребления электроэнергии. При этом имеют место ощутимые потери энергии, поскольку КПД такого хранения составляет менее 80%.

Данный метод может использоваться при наличии подходящей емкости для сжатого воздуха и избытке электроэнергии во внепиковое время.

Экономические аспекты

Рассматривались три экономически жизнеспособных варианта хранения энергии при помощи сжатого воздуха:

- централизованная система (300 МВт, наилучшие коммерческие перспективы);

- децентрализованная система (50 МВт);
- автономная система (30 МВт).

Мотивы внедрения

Значительная потребность в хранении энергии для обеспечения доступности энергии в тот момент, когда она необходима.

Примеры

Установка мощностью 290 МВт была построена в г. Хундорф (Германия) в 1978 г., установка мощностью 110 МВт – в г. Макинтош (Алабама, США) в 1991 г. В настоящее время планируется строительство третьей коммерческой установки мощностью 2700 МВт в г. Нортон (Огайо, США).

Справочная информация

[281, EWEC, 2004] [282, Association]

6. Заключительные замечания

6.1. Временные рамки и основные этапы подготовки настоящего документа

Перовое заседание Технической рабочей группы (ТРГ) состоялось в мае 2005 г., а первый предварительный вариант документа был распространен для обсуждения в апреле 2006 г. Второй предварительный вариант, содержавший конкретные предложения по наилучшим доступным технологиям (НДТ), был распространен для обсуждения в июле 2007 г. Заключительное заседание ТРГ состоялось в ноябре 2007 г.

6.2. Источники информации

В современном обществе и, в частности, в промышленности энергия используется разнообразными способами. Важность эффективного использования энергии осознается со времени строительства первых паровых машин в ходе промышленной революции. Именно в то время были сформулированы первые научные положения термодинамики – раздела физики об энергии и ее преобразованиях – кратко описанные в настоящем документе. Гораздо позже, в последние десятилетия, широкое внимание специалистов и общественности привлекли такие вопросы, как изменение климата, связанное со сжиганием ископаемого топлива (один из основных способов производства различных форм энергии в мировом масштабе), а также стоимость энергоресурсов и вопросы энергетической безопасности. Результатом этого явилась новая волна интереса к энергоэффективности и публикация большого количества информации по данному вопросу. Большинство данных по энергоэффективности, использованных в процессе обмена информацией и включенных в настоящий документ, являются результатом исследований, выполненных в 2000–2007 гг. Однако были использованы и некоторые данные, восходящие к 1990-м годам, поскольку концепции и подходы, иллюстрируемые этими данными, не претерпели существенных изменений.

Разнообразные данные по энергоэффективности, доступные в настоящее время, охватывают широкий круг тем, некоторые из которых не имеют отношения к КПКЗ. Кроме того, Справочные документы горизонтального характера часто характеризуются очень широким охватом вопросов соответствующей области. Оба этих фактора были потенциальными источниками трудностей при организации информационного обмена. Поэтому при разработке настоящего документа было решено сосредоточиться на энергоэффективности как одном из основных приоритетов Директивы КПКЗ, собирая и обобщая информацию о наилучших доступных технологиях (НДТ) в данной области, и внося таким образом вклад в реализацию КПКЗ как на общеевропейском уровне, так и на уровне отдельных предприятий.

Собранные данные отличались значительным разнообразием. Преобладали следующие типы информации:

- конкретные данные, главным образом, по энергоемким производствам (например, стекольной и химической промышленности, а также металлургии);
- данные по универсальным энергетическим технологиям, применяемым в различных отраслях (например, сжиганию топлива, паровым системам, электроприводам, насосным системам, системам сжатого воздуха и т.д.);
- данные об энергоэффективности общего характера, применимые к любым отраслям и предприятиям, не обязательно подпадающим под действие Директивы КПКЗ.

Источники информации также отличались разнообразием. Среди них были, в частности, проекты, осуществлявшиеся при поддержке ЕС, программы повышения энергоэффективности, реализуемые в государствах ЕС и других странах (прежде всего, США и Японии), отраслевые публикации и журналы, а также учебники. Стремясь предоставить как можно больше практически полезной информации по энергоэффективности, многие источники приводили примеры комплексных подходов, представлявших собой сочетание нескольких методов повышения энергоэффективности. Это также создало определенные трудности при подготовке

настоящего документа, поскольку Руководство по составлению Справочных документов требует выделения и описания отдельных методов. Для того, чтобы облегчить читателю понимание методов и особенностей их применения, в приложениях к настоящему документу приведен ряд практических примеров; соответствующие разделы основного текста снабжены ссылками на эти примеры.

Руководства по рекомендуемым практическим подходам или НДТ в области энергоэффективности были предоставлены такими государствами ЕС, как Австрия, Германия, Нидерланды и Великобритания. Эти руководства послужили полезными источниками обзорного характера. Более подробная информация была получена из источников, посвященных конкретным технологиям или отраслям: так, Франция передала более 100 документов по отдельным технологиям, а Финляндия предоставила 11 документов. Испания предоставила обзор важнейших понятий и законов термодинамики, представляющих научную основу деятельности в области энергоэффективности. Этот обзор включен в настоящий документ в качестве приложения.

Данные из промышленных источников были предоставлены, главным образом, предприятиями ряда энергоемких отраслей (химической и нефтехимической промышленности, сжигания отходов, черной металлургии, электроэнергетики и стекольной промышленности), а также производителями систем сжатого воздуха. Данные по другим энергопотребляющим системам и технологиям, а также примеры из практики неэнергоемких отраслей были представлены программами, осуществлявшимися при поддержке ЕС, а также отдельными государствами-членами.

Еще одним важным источником информации были замечания ТРГ к двум предварительным вариантам настоящего документа и приложенная к ним дополнительная информация: всего около 2300 комментариев. В процессе уточнения конкретных комментариев, а также данных по конкретным методам запрашивалась и передавалась дополнительная информация. Среди прочих источников, для уточнения значения определенных терминов использовалась онлайновая энциклопедия Wikipedia. Члены рабочей группы высказывали различные мнения относительно ее ценности в качестве источника информации. Некоторые отдавали предпочтение традиционным источникам информации, прошедшим принятую процедуру рецензирования, тогда как другие отмечали простоту доступа к Wikipedia по сравнению с традиционными источниками. Определения из Wikipedia не использовались при подготовке наиболее важных разделов настоящего документа, включая рекомендации по конкретным НДТ.

При подготовке документа количественные данные о результатах применения были доступны лишь для небольшой части конкретных методов; имелись лишь ограниченные данные об ориентировочных объемах энергосбережения для некоторых комплексных подходов и примеров. Поэтому оказалось невозможным привести количественные оценки повышения энергоэффективности для многих методов, перечисленных в настоящем документе, хотя некоторые ориентировочные значения приведены при описании отдельных методов в главах 2 и 3, а также в составе примеров, включенных в приложения. Предполагается, что эти сведения могут дать представление о диапазонах возможного энергосбережения при применении тех или иных методов на уровне предприятия.

Еще одним источником информации были посещения объектов, а также двусторонние встречи с представителями государств-членов и промышленности.

Дополнительные трудности при сборе, оценке и использовании информации были связаны с тем, что многие источники предлагали различные подходы к достижению одних и тех же целей, а одни и те же методы назывались по-разному в различных документах. Это затрудняло поиск необходимой организации в электронных и печатных источниках. Источники информации не всегда были ориентированы на установки КПКЗ; темы и содержание различных источников могли перекрываться. Например, многие помещения промышленных предприятий нуждаются в вентиляции, отоплении и/или охлаждении. В строительной отрасли системы, выполняющие соответствующие функции, называются системами ОВКВ (отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Однако, судя по всему, большая часть доступной информации по таким системам относится к офисным или коммерческим зданиям. Поэтом убыло неясно,

применима ли она к условиям промышленного производства (например, удалению паров, образующихся в технологическом процессе), и необходим ли поиск дополнительной информации.

6.3. Степень консенсуса

На заключительном совещании ТРГ в ноябре 2007 г. был достигнут высокий уровень консенсуса относительно формата документа и круга рассматриваемых методов. Еще более важным было достижение полного консенсуса относительно того, что выводы документа должны быть сформулированы в форме горизонтальных НДТ для любых отраслей и предприятий, подпадающих под действие Директивы КПКЗ. Особых мнений зафиксировано не было.

В силу горизонтального характера настоящего документа (охватывающего широкий круг отраслей и видов деятельностей), оказалось невозможным привести конкретные данные по ожидаемому повышению энергоэффективности для каждого метода. Однако в этой связи следует сделать два замечания:

- важнейшая согласованная НДТ состоит в том, что каждая установка должна выработать собственные показатели энергоэффективности и использовать их для оценки результатов, достигаемых при помощи выбранных методов повышения энергоэффективности;
- сводка основных методов обеспечения энергоэффективности и соответствующих данных, приводимых в первых версиях вертикальных (отраслевых) Справочных документов дана в документе [283, EIPPCB].

6.4. Пробелы и дублирование информации. Рекомендации по дальнейшему сбору информации и исследованиям

6.4.1. Пробелы и дублирование информации

Данные по конкретным методам

При подготовке настоящего документа имел место недостаток (по крайней мере, с точки зрения составителей документа) данных или ясности по следующим вопросам:

- Энергоэффективное проектирование (ЭЭП): согласно предоставленным данным, повышение энергоэффективности может быть достигнуто за счет привлечения внешних экспертов по энергоэффективному проектированию, а также выявления (и отклонения) тендерных предложений и других предложений поставщиков, не учитывающих в достаточной мере соображений энергоэффективности (например, предложений, отличающихся минимальными начальными капитальными затратами, но не минимальными затратами за все время жизненного цикла). Однако представители энергоемких отраслей отметили, что эти отрасли располагают достаточной собственной квалификацией в данной области и способны решать соответствующие задачи без привлечения внешних экспертов. Поэтому не было принято решения о включении соответствующих методов в НДТ. Необходима дополнительная детальная информация о примерах применения двух этих методов в контексте энергоэффективного проектирования.
- Эффективный контроль технологических процессов: конкретные методы и параметры должны быть проработаны в составе вертикальных Справочных документов при очередном пересмотре и обновлении последних.
- Мониторинг и измерения являются важнейшими факторами обеспечения энергоэффективности. Хотя полученные данные, приведенные в разделе 2.10, являются полезными, они не отражают всего диапазона методов, которые могут применяться во всех отраслях. Это может быть следствием недостаточного внимания к данному вопросу в использованных источниках. Было бы полезным включить информацию по методам, применимым в конкретных отраслях, в соответствующие вертикальные Справочные документы, как в форме описаний, так и в виде ссылок на настоящий документ. Существует также потребность в дополнительной информации по методам мониторинга и

измерения, которая могла бы быть использована при очередном пересмотре настоящего документа.

- Сжигание топлива и паровые системы: доступно большое количество информации по этим темам. В частности, обе они подробно освещаются в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам (LCP BREF), который содержит результаты информационного обмена по энергетическим установкам всех размеров и типов (например, котлоагрегатам, производящим энергоресурсы для нужд технологического процесса, когенерационным станциям, котельным централизованного теплоснабжения), используемым для производства механической или тепловой энергии. Документ охватывает установки с мощностью как выше, так и ниже порога 50 МВт, установленного для крупных топливосжигающих установок КПКЗ. Однако в ходе информационного обмена по методам обеспечения энергоэффективности была предоставлена информация по многим методам, не отраженным в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам. При подготовке настоящего документа было решено включить в него перечень методов, рекомендуемых в LCP BREF, а также привести информацию по другим методам. Существует потребность в дополнительной информации по следующим вопросам:
    - методы сжигания и/или типы паровых систем, не используемых в настоящее время в условиях крупных установок. Например, хотя LCP BREF уделяет внимание сжиганию в кипящем слое, этот метод используется более широко, и обзор его применимости в различных отраслях, а также достоинств и недостатков был бы полезен в контексте настоящего документа. См. также технологию высокотемпературного беспламенного (объемного) сжигания (раздел 5.1 настоящего документа).
    - пар: необходимы данные для определения того, в каких случаях использование пара для отопления и нужд технологических процессов может считаться НДТ.
- Утилизация тепла: отсутствуют данные, которые позволили бы определить НДТ по использованию теплообменников и тепловых насосов.
- Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (ОВКВ): центральную часть соответствующего раздела (3.9) составляют данные по системам вентиляции. Однако, хотя в разделе приводятся ссылки на информацию по другим компонентам систем ОВКВ (например, насосам или теплообменникам), данные об особенностях систем ОВКВ как целостных систем были недоступны при подготовке настоящего документа (в т.ч. на упоминавшемся сайте ЕС). Кроме того, могут быть необходимы дополнительные данные по методам удаления паров, образующихся в технических процессах (подобная информация приведена, например, в Справочном документе по обработке металлических поверхностей). Эта информация может быть включена, например, в настоящий горизонтальный документ или соответствующие отраслевые Справочные документы.
- Холодильное оборудование: предполагалось, что соответствующие вопросы будут освещены в разделе по системам ОВКВ. Однако значительная доля энергопотребления в промышленности ЕС приходится на охлаждение крупных помещений для хранения скоропортящегося сырья и продукции (в частности, пищевой), и существует потребность в дополнительной информации по данному виду деятельности. Данные Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) относительно последних обсуждений в связи с Монреальским протоколом были предоставлены слишком поздно для включения в настоящий документ. Судя по всему, важным методом является выбор надлежащего хладагента (и, как следствие, соответствующего оборудования) для промышленных холодильных систем. При этом существенными представляются следующие соображения:
    - используемые хладагенты должны иметь не только нулевой озоноразрушающий потенциал, но и низкий потенциал глобального потепления, а также требовать относительно небольших затрат энергии при использовании;

- должны быть предусмотрены оборудование и методы для минимизации риска утечек при эксплуатации оборудования, а также при его замене и выводе из эксплуатации.

Необходима дополнительная информация по данному вопросу.

- Системы охлаждения: соответствующие вопросы рассматриваются в Справочном документе по промышленным системам охлаждения (ICS BREF). Важнейшая рекомендация по НДТ для систем охлаждения, приводимая в ICS BREF, состоит в использовании избыточного тепла от одного источника для полного или частичного удовлетворения потребностей в тепловой энергии другой системы (которая может быть частью того же технологического процесса, той же установки или находиться за пределами последней). Краткое изложение этого и других принципов, сформулированных в ICS BREF в качестве НДТ, приведено в настоящем документе для удобства пользователя.
- Компенсация реактивной мощности при организации электроснабжения: согласно двум источникам, следует стремиться к целевому значению коэффициента мощности 0,95. Однако коррекция до данной величины является экономически невозможной для некоторых применений, в частности, дуговых печей. Представители других отраслей не смогли определенно сформулировать, какая величина коэффициента мощности является достижимой на их производствах. Поэтому не было достигнуто консенсуса относительно определенной целевой величины коэффициента мощности, а также того, является ли эта величина специфичной для конкретных отраслей. Необходимы дополнительные данные по данному вопросу. Целевые показатели для конкретных отраслей могут быть включены в соответствующие вертикальные Справочные документы при очередном пересмотре последних.
- Системы сжатого воздуха: при подготовке настоящего документа имел место недостаток информации, которая позволила бы определить, в каких случаях использование сжатого воздуха может считаться НДТ. Очевидно, что в тех случаях, когда сжатый воздух используется в качестве существенного компонента основных технологических процессов (например, для дутья в стекольной промышленности или при производстве азота для создания инертной атмосферы), простая замена сжатого воздуха вряд ли возможна. Однако для некоторых видов вспомогательной деятельности, применяемых в различных отраслях, (например, транспортировка мелкозернистых материалов, использование сборочных инструментов с пневмоприводом) необходима дополнительная информация, которая позволила бы установить, является ли использование сжатого воздуха НДТ. Были предоставлены ориентировочные значения энергоэффективности, однако они носят слишком общий характер для того, чтобы использоваться при определении НДТ. Необходима дополнительная информация по ориентировочным значениям, например, для разных типов компрессоров и т.д.
- Методы сушки и сепарации: данные методы были объединены в одну категорию, поскольку одной из основных НДТ является осуществление сушки, там, где это технически возможно, в несколько ступеней, например, с помощью механической сепарации, за которой следует термическая сушка. Однако существуют методы и области применения сушки и сепарации, которые не получили освещения в настоящем документе.
- В процессе подготовки настоящего документа не было получено информации по следующим вопросам:
    - вакуумные системы;
    - теплоизоляция зданий: не было получено конкретных данных в форме, которая могла бы быть использована при подготовке настоящего документа;
    - контроль потерь или поступления тепла через двери, окна и другие проемы (отверстия) зданий;
    - внутренние системы транспортировки, включая конвейеры, транспортировка порошкообразных материалов сжатым воздухом и т.д.

Рекомендации

Пробелы, перечисленные выше, должны быть восполнены при помощи дополнительной информации при пересмотре настоящего документа или других горизонтальных Справочных документов (например, по промышленным системам охлаждения, сточным водам и отходящим газам в химической промышленности и т.д.).

Данные по затратам

Как и в случае многих других Справочных документов, при подготовке настоящего документа имел место недостаток конкретных сведений о затратах и выгодах, связанных с применением большинства методов. Получение такой информации представляет особенную сложность в контексте горизонтального Справочного документа, поскольку масштаб и цели применения методов в различных отраслях могут существенно различаться. В некоторых случаях информация по затратам и выгодам приведена в составе примеров, включенных в приложения к настоящему документу.

6.4.3. Конкретная производственная информация

Составители настоящего документа стремились к получению конкретных данных по энергоэффективности, которые позволили бы оценить результативность применения предлагаемых методов на предприятиях различных типов и отраслей. В результате в документ были включены некоторые ориентировочные данные, приводимые, в частности, в главе 3 и приложениях (описание примеров). Однако оказалось невозможным привести более детальные производственные данные вследствие широкого разнообразия применений и отраслей, охватываемых горизонтальным Справочным документом (см. также раздел 6.4.3).

Кроме того, во многих случаях было затруднительно получить экономические данные, в частности, по диапазонам затрат на внедрение оборудования и методов.

Рекомендации

При пересмотре настоящего документа следует стремиться к получению любых дополнительных данных по характерным величинам энергопотребления и/или энергоэффективности, в частности, от производителей оборудования.

При пересмотре вертикальных Справочных документов следует уделить особое внимание обновлению (или, если таковые данные отсутствуют, включению) данных по энергетическим характеристикам конкретных технологических процессов, что позволит пользователям оценивать энергоэффективность этих процессов. Эти данные должны быть приведены в форме, учитывающей специфику конкретной отрасли (см. обсуждение показателей энергоэффективности в разделе 1.4). Данные должны учитывать различия между новыми и существующими предприятиями, а также, если это применимо, другие различия между установками/процессами, региональные различия и т.д.

Кроме того, при пересмотре настоящего документа следует стремиться к получению данных по характерным затратам на внедрение описываемых методов. Эти данные могут быть получены, в частности, от пользователей, производителей и поставщиков технологий, оборудования и установок.

6.4.3. Направления дальнейших исследований и практической деятельности

В целом, в настоящее время осуществляется большое количество исследований в области энергоэффективности, и в процессе подготовки настоящего документа не было выявлено новых областей общего характера для дальнейших исследований. Разработка новых технологий ведется скорее в отраслевом контексте или в связи с конкретными видами продукции, чем в рамках исследований общего характера. Тем не менее, важно отметить, что результатом исследований в некоторых областях может быть повышение энергоэффективности. При этом последнее может быть лишь одним из взаимосвязанных положительных результатов, включающих также повышение производительности и/или качества продукции и/или сокращение образования

загрязняющих веществ. Подобных результатов можно ожидать, в частности, в таких областях, как:

- разработка основных технологических процессов на основе научных достижений (например, катализ, биокатализ, другие биотехнологические методы);
- использование электромагнитного излучения с различными длинами волн вместо конвективной или контактной сушки (например, использование микроволн для интенсификации химических реакций, радиационная вулканизация покрытия вместо сушки при обработке поверхностей);
- новые методы и применения утилизации тепла (например, утилизация тепла в интенсивном животноводстве, использование тепловых насосов);
- интенсификация технологических процессов.

Существует значительная потребность в дальнейшей деятельности по двум направлениям:

- сбор дополнительной информации, в частности, в областях, перечисленных в разделе 6.4.1;
- осуществление демонстрационных проектов и программ, направленных на содействие внедрению существующих передовых технологий, в тех случаях, когда:
    - имеется недостаточно данных о практическом применении технологий, и/или
    - применение данных технологий в промышленности в настоящее время ограничено, например, определенной отраслью или небольшим кругом предприятий.

Считается, что причиной ограниченного внедрения новых технологий в промышленности является риск для отдельного оператора, связанный, например, с изменением традиционных условий производственного процесса, что может привести к снижению производительности или качества продукции.

Конкретным примером такой технологии может служить высокотемпературное беспламенное (объемное) сжигание. Эта технология применяется в стальной отрасли Японии. Она также используется в США и других странах в таких отраслях, как черная металлургия, производство кирпича и черепицы, цветная металлургия, а также литейное производство. Она также может применяться в небольших стекольных печах. В ЕС был успешно реализован пилотный проект по внедрению данной технологии на металлургическом предприятии, однако известные случаи ее коммерческого применения отсутствуют, несмотря на то, что в исследованных случаях применение этой технологии позволило бы сократить энергопотребление на величину около 30%.

В рамках своих программ исследований и технологического развития ЕС инициирует и поддерживает целый ряд проектов в области более чистых технологий, новых технологий очистки сточных вод и рециклирования материалов, а также стратегий менеджмента. Возможно, результаты некоторых из этих проектов окажутся полезным материалом, заслуживающим включения в настоящий Справочный документ в процессе будущего пересмотра. Поэтому мы приглашаем читателей сообщать Европейскому бюро по КПКЗ о любых результатах исследований, имеющих отношение к тематике настоящего документа (см. также Предисловие).

Информация по проектам в области энергоэффективности, финансируемым ЕС в рамках программы CORDIS, может быть получена в базе данных по проектам, доступной на сайте программы: http://cordis.europa.eu.

Круг проектов, поддерживаемых в рамках программы, меняется с течением времени. В качестве примеров проектов, финансируемых в настоящее время, можно привести:

- защита от износа:
    - разработка тонких керамических покрытий для защиты металлических лопаток турбин от износа, вызванного действием высоких температур и механическим напряжением;
- SRS NET и EEE:

- научная справочная система по новым технологиям в области энергии, эффективности конечного использования энергии, а также деятельности по исследованиям и технологическому развитию в данной сфере;

- ECOTARGET:
  - новые технологические процессы, направленные на радикальное изменение европейской целлюлозно-бумажной промышленности;
- FENCO-ERA:
  - инициатива по технологиям использования ископаемого топлива, направленная на создание тепловых электростанций с нулевым уровнем выбросов парниковых газов;
- различные системы оценки новых и «чистых» энергетических технологий.

6.5. Пересмотр настоящего документа

При подготовке настоящего документа использовались относительно недавние сведения по методам обеспечения энергоэффективности (2000–2007 гг.); соответствующая область вряд ли претерпит значительные изменения в ближайшем будущем. Структура документа была существенно изменена при подготовке второй черновой версии, что позволило включить в него большой объем дополнительной информации и одновременно выявить имеющиеся пробелы в данных (см. 6.4.1). Восполнение этих пробелов отвечает интересам европейской промышленности. Не исключено, что в обозримом будущем будет осуществлен пересмотр настоящего документа; процесс пересмотра может начаться в 2013 г. и, скорее всего, завершиться публикацией новой версии документа в 2015 г.

Источники

2. Valero-Capilla, A., Valero-Delgado A. (2005). "Fundamentals of energy thermodynamics".

3. FEAD and Industry, E. W. T. (2005). "Plug-ins to the Introduction to energy".

4. Cefic (2005). "How to define energy efficiency?"

5. Hardell, R. and Fors, J. (2005). "How should energy efficiency be defined?"

6. Cefic (2005). "Key Aspects of Energy Management".

7. Lytras, K., Caspar, C. (2005). "Energy Audit Models".

9. Bolder, T. (2003). "Dutch initial document on Generic Energy Efficiency Techniques".

10. Layer, G., Matula, F., Saller, A., Rahn, R. (1999). "Determination of energy indicators for plants, manufacturing methods and products (abridged version)".

11. Franco, N. D. (2005). "Energy models".

12. Pini, A. a. U., A. and Casula, A. and Tornatore, G. and Vecchi, S. (2005). "Energy saving evaluation using pinch analysis tool".

13. Dijkstra, A. "Definition of benchmarking".

16. CIPEC (2002). "Energy Efficiency Planning and Management Guide".

17. Åsbland, A. (2005). "High temperatur air combustion".

18. Åsbland, A. (2005). "Mechanical Vapour Recompression".

20. Åsbland, A. (2005). "Surplus heat recovery at board mill".

21. RVF, T. S. A. o. W. M. (2002). "Energy recovery by condensation and heat pumps at Waste-to-Energy to plants in Sweden".

26. Neisecke, P. (2003). "Masnahmen zur Verminderung des Energiverbrauchs bei ausgewählten Einzeltechniken".

28. Berger, H. (2005). "Energiefficiencte Technologien umd efficiensteigernde Massnahmen".

29. Maes, D., Vrancen, K. (2005). "Energy efficiency in steam systems".

31. Despretz, H., Mayer, B. "Auditor'Tools. SAVE-project AUDIT II".

32. ADENE (2005). "Steam production".

33. ADENE (2005). "Steam netwokrs".

34. ADENE (2005). "Heat recovery systems".

36. ADENE (2005). "Process control systems".

40. ADENE (2005). "Transport energy management".

48. Teodosi, A. (2005). "Operating procedure of heat exhcangers with flashed steam in an alumina refinery".

51. Pini, A., Casula, A., Tornatore, G., Vecchi, S. (2005). "Energy saving evaluation using pinch analysis tools".

55. Best practice programme (1998). "Monitoring and Targeting in large companies. Good Practice Guide 112. Best Practice Programme. SAVE".

56. Best practice programme (1996). "Monitoring and targeting in small and medium-sized companies. Good practice guide 125".

62. UK_House_of_Lords (2005). "Energy Efficiency, Volume I:".

63. UK_House_of_Lords (2005). "Energy Efficiency. Volume II: Evidence".

64. Linde, E. (2005). "Energy efficienct stationary reciprocating engine solutions".

65. Nuutila, M. (2005). "Energy Efficiency in Energy Production".

67. Marttila, M. (2005). "Pinch Technology for Energy Analysis".

89. European Commission (2004). "EMAS Energy Efficiency Toolkit for Small and Medium sized Enterprises".

91. CEFIC (2005). "Guidelines for Energy Efficiency in Combustion installation".

92. Motiva Oy (2005). "Benchmarking and Energy Mangement Schemes in SMEs, Draft".

93. Tolonen, R. (2005). "Improving the eco-efficiency in the ditrsict heating and district cooling in Helsinki".

94. ADEME (2005). "Energy efficiency in transport".

95. Savolainen, A. (2005). "Electric motors and drives".

96. Honskus, P. (2006). "An approach to ENE BREF content".

97. Kreith, F. a. R. E. W. (1997). "CRC Handbook of Energy efficiency", 0-8493-2514-5.

98. Sitny, P., Dobes, V. (2006). "Monitoring and targeting".

107. Good Practice Guide (2004). "A strategic approach to energy and environmental mangement".

108. Intelligent Energy - Europe (2005). "Benchmarking and energy mangement schemes in SMEs (BESS), Draft".

113. Best practice programme (1996). "Developing an effective energy policy. Good practice guide 186".

114. Caddet Analysis Series No. 28 (2001). "Energy Conservation in the Pulp and Paper Industry".

115. Caddet Analysis Series No. 23 "Industrial Heat Pumps".

116. IEA Heat Pump Centre "IEA Heat Pump Centre", http://www.heatpumpcentre.org.

117. Linnhoff March "Pinch methodology", www.linnhoffmarch.com.

118. KBC "Pinch methodology", www.kbcat.com.

119. Neste Jacobs Oy "Pinch methodology", www.nestejacobs.com.

120. Helsinki Energy (2004). "What is District Cooling?" www.helsinginenergia.fi/kaukojaahdytys/en/index.html.

121. Caddet Energy Efficiency (1999). "Pressured air production and distribution. Caddet Energy Efficiency Newsletter No 3".

122. Wikipedia_Combustion (2007). http://en.wikipedia.org/wiki/Combustion.

123. US_DOE "Improving steam system performance. A source book for industry." Best Practices activity for the U.S. Department of Energy's (DOE) Industrial Technologies Program.

125. EIPPCB "LCP BREF".

126. EIPPCB "C&L BREF".

127. TWG "TWG comments D1", личное сообщение.

128. EIPPCB "LVIC-S BREF".

130 .US_DOE_PowerFactor "Motor Challenge Fact sheet, Reducing Power Factor Cost".

131. ZVEI "Position Paper on the Green Paper on Energy Efficiency: Improving Energy Efficiency by Power Factor Correction".

132. Wikipedia_Harmonics, http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics.

133. AENOR (2004). "EN 12953-10".

134. Amalfi, X. (2006). "Boiler Audit House".

135. EUROELECTRICS "Harmonics", личное сообщение.

136. CDA "Harmonics", http://www.copper.org/homepage.html.

137. EC "EURODEEM", http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/eurodeem/index.htm.

139. US_DOE "Motor Master Plus", http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html.

140. EC (2005). "Green Paper on Energy Efficiency COM(2005)265 final of 22 June 2005".

141. EU (2007). "Berlin Declaration".

142. EC (2007). "Energy Efficiency Action Plan October 2007 COM (2006) 545 FINAL".

145. EC (2000). "Green Paper: Towards a European Strategy for the security of Energy Supply COM (2000) 769 FINAL Nov 2000".

146. EC (2004). “Directive 2004/8/EC of the EP and Council on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC".

147. EC (2006). “Council Directive 2006/32/EC of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC".

148. EC (2005). “Framework Directive 2005/32/EC for the setting of eco-design requirements for energy using products (EuP)".

152. EC (2003). "Guidance on Interpretation of "Installation" and "Operator" for the Purposes of the IPPC Directive amended 2007".

153. Wikipedia "thermodynamics: laws, definitions, etc".

154. Columbia_Encyclopedia "Enthalpy".

156. Beerkens, R. G. C., van Limpt H.A.C., Jacobs, G (2004). “Energy Efficiency benchmarking of glass furnaces", Glass Science Technology,pp.11.

157. Beerkens R.G.C., v. L., H. (2006). "Analysis of Energy Consumption and Energy Savings Measures for Glass Furnaces".

158. Szabo, L., Dr (2007). "Energy efficiency indicators", личное сообщение.

159. EIPPCB (2006). "STS BREF: Surface treatment using organic solvents".

160. Aguado, M. (2007). "Site visit, Outokumpo Tornio steel works, Finland", личное сообщение.

161. SEI (2006). "Certified energy management systems".

162. SEI (2006). "The New Irish Energy Managament Standard – Aughinish Alumina Experience".

163. Dow (2005). "ENE TWG kick off meeting presentation".

164. OECD (2001). "The application of biotechnology to industrial sustainability".

165. BESS_EIS "Energy savings in design".

166. DEFRA, U. (2003). "Delivering energy efficiency savings".

167. EIPPCB (2006). "Economics and cross-media BREF".

168. PNEUROP (2007). "Proposed new text for compressed air section (CAS)".

169. EC (1993). "SAVE programmes - set up to implement directive 93/76/EEC to limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency".

170. EC (2003). "European motor challange programme - Pumping systems programme", European motor challange programme.

171. de Smedt P. Petela E., M., I., Brodkorb M. (2006). "Model-based utilities management optimisation and management".

172. Maagøe Petersen, P. (2006). "Energy Efficient Design".

173. EIPPCB (2003). "Intensive livestock farming BREF".

174. EC (2007). "Novel potato process - LIFE project LIFE04ENV/DK/67", LIFE, LIFE04ENV/DK/67.

175. Saunders_R. (2006). “Electron Beam: One Way to Mitigate Rising Energy Costs",

RADTECH report.

176. Boden_M. (2007). "Confirmation: EEFIN report results still valid", личное сообщение.

177. Beacock, S. (2007). "EUREM project", личное сообщение.

179. Stijns, P. H. (2005). “Energy management system - Atrium Hospital, Heerlen. NL", Euro Heat and Power.

180. Ankirchner, T. (2007). "European energy manger training project", личное сообщение.

181. Wikipedia "Process control engineering".

182. Wikipedia "Discussion and information on quality assurance and quality management" http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_9000.

183. Bovankovich (2007). "Energy management: what you need to know", личное сообщение.

186. UBA_AT "Energieeffiziente Technologien und effizienzsteigernde Massnahmen".

188. Carbon_Trust_(UK) (2005). "Energy use in Pig Farming ECG089", Energy Consumption Guide.

189. Radgen&Blaustein (2001). "Compressed Air Systems in the European Union", LOG-X, 3-932298-16-0.

190. Druckluft "System optimisation in CAS", http://www.druckluft-effizient.de/e/facts/08-system-optimisation.pdf.

191. Druckluft "Compressed Air Distribution", http://www.druckluft-effizient.de/e/facts/07-air-distribution.pdf.

193. Druckluft "Compressed Air-Example plants", http://www.druckluft-effizient.de/e/links/downloads.php?m=link.

194. ADEME (2007). "Compressed Air".

195. DETR "Air compressors with integral variable speed control", Best Practice Programme, Energy Efficiency, http://www.druckluft- effizient.de/links/demoprojekte/uk-vsd.pdf.

196. Wikipedia "Compressed Air".

197. Wikipedia "Drying".

199. TWG "Annex 1622 Front Ends Pump Systems".

200 TWG "Annex 1612 Front Ends Pump Systems".

201. Dresch_ADEME, M. (2006). "DRYING-Proposal for "Energy Efficiency Techniques BREF".

202. IFTS_CMI (1999). "Contribution à l'élaboration de la stratégie de l'ADEME pour la maîtrise de l'énergie dans les procédés de séparation / concentration".

203. ADEME (2000). "Les procédés de séchage dans l'industrie".

204. CETIAT (2002). "Gains énergétiques induits par l'utilisation des énergies radiantes dans l'industrie: bilans thermiques sur site et retours d'expérience".

205. ADEME "Optimisation énergétique du séchage du latex naturel", www.ademe.fr.

206. ADEME (2002). "Les énergies radiantes et leurs applications industrielles".

207.. ADEME (2000). "Mesure de l'humidité des solides dans l'industrie".

208. Ali, B. (1996). "Séchage à la vapeur d'eau saturée - Etat de l'art", Cahiers de l'AFSIA.

209. Wikipedia "Lighting".

210. EC (2000). "The European Motor Green Light Programme", http://sunbird.jrc.it/GreenLight/.

211. ADEME (1997). "Financer des travaux d'economie d'energie en hotellerie restauration".

212. BRE_UK (1995). "Financial aspects of energy management in buildings - Good practice guide 165".

213. EC "Guide to Energy Efficiency Bankable Proposals".

214. EC (1996). "Shared energy saving and supply agreement for UK buildings".

215. Initiatives, I. C. f. L. E. (1993). "Profitting from energy efficiency! A financing handbook for municipalities".

216. Initiatives, I. C. f. L. E. (1995). "Energy Smart Cities, Energy Efficiency Financing Directory".

217. Piemonte, R. (2001). "Gestione del servizio di illuminazione pubblica e realizzazione di interventi di efficienza energetica e di adeguamento normativo sugli impianti comunali, con l'opzione del finanziamento tramite terzi - Capitolato tipo d'appalto per le amministrazioni comunali".

218. Association, W. E. E. (1997). "Manual on financing energy efficiency projects".

219. IDAE "Propuesta de Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior".

220. Blasiak W., Y., W., Rafidi N., (2004). “Physical properties of a LPG flame with high-temperature air on a regenerative burner," Combustion and Flame,pp. 567-569.

221. Yang W., B. W. (25 May 2005,). “Mathematical modelling of NO emissions from High Temperature Air Combustion with Nitrous Oxide Mechanism", Fuel Processing Technology, pp. 943-957.

222. Yang W., B. W. (2005). “ Flame Entrainments Induced by a Turbulent Reacting Jet Using High-Temperature and Oxygen Deficient Oxidizers", Energy and Fuels,pp. 1473-1483.

223. Rafidi N., B. W. (2005). “Thermal performance analysis on a two composite material honeycomb heat regenerators used for HiTAC burners," Applied Thermal Engineering, pp. 2966-2982.

224. Mörtberg M., B. W., Gupta A.K (2005). “Combustion of Low Calorific Fuels in High Temperature and Oxygen Deficient Environment." Combustion Science and Technology.

225. Rafidi N., B. W., Jewartowski M., Szewczyk D. (June 2005). “Increase of the Effective Energy from the Radiant Tube Equipped with Regenerative System in Comparison with Conventional Recuperative System", IFRF Combustion Journal, article No 200503.

226 CADDET (2003, March). “High-performance Industrial Furnace Based on High- temperature Air Combustion Technology - Application to a Heat Treatment Furnace".

227. TWG “Comments to Draft 2 ENE BREF".

228. Petrecca, G. (1992). "Industrial Energy Management".

229. Di Franco, N. “ Energy diagnose in semi-conductors mill".

230. Association, C. D. (2007). "Harmonics", http://www.copper.org/applications/electrical/pq/issues.html.

231. The motor challenge programme "The motor challenge programme," http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/index.htm. 232 60034-30, I. "Rotating electrical machines - Part 30: efficiency classes of single speed, three-phase, cage induction motors (IE code)".

233. Petrecca, G. (1992). " Industrial Energy Management".

234. PROMOT "PROMOT", http://promot.cres.gr/promot_plone.

236. Fernández-Ramos, C. (2007). "Energy efficient techniques LCP BREF", личное сообщение.

237. Fernández-Ramos, C. (2007). "Cooling in CV BREF", личное сообщение.

238. Hawken, P. (2000). "Natural Capitalism", ISBN 0-316-35300-0.

240. Hardy, M. "A Practical Guide to Free Cooling, Alternative Cooling, Night Cooling and Low Energy Systems," http://www.ambthair.com.

241. Coolmation “Free Cooling".

242. DiLouie, C. (2006). "Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity, Technology and Applications," ISBN 0-88173-510-8.

243. R&D, E. (2002). "Waste water concentration by mechanical vapour recompression (MVR) or heat pump (HP)".

244. Best practice programme "Compressed air costs reduced by automatic control system", http://www.druckluft-effizient.de/links/demoprojekte/gpcs137.pdf.

245. Di Franco, N. (2008). "Energy efficient management of transformers".

246. ISPRA, D. J. I. (2008). "Figure-Comparison of energy efficient and conventional pumping system", личное сообщение.

248. ADEME (2007). "Drying systems-Proposal for ENE BREF".

249. TWG (2007). “TWG Final ENE BREF Meeting Nov 2007".

250. ADEME (2006). "Energy Diagnosis Reference Frame for Industry", личное сообщение.

251. Eurostat (2007). "Panorama of Energy".

252. EEA (2005). "Atmospheric greenhouse gas concentrations", CSI 013.

254. EIPPCB (2005). "Waste Incineration BREF", BREF.

255. EC; Waste, P. f. a. D. o. t. E. P. a. t. C. o. and COM_(2005)_667 (2005). "Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on Waste COM (2005) 667".

256. Tempany, P. (2007). "Continuing environmental improvement", личное сообщение.

257. Clark, J. H. (2006). “Green Chemistry: today (and tomorrow)", Green Chemistry.

258. Tsatsaronis, G. and Valero, A. (1989). “Thermodynamics meets economics - Combining thermodynamics and economics in energy systems", Mechanical Engineering.

259. IEA (2006). "Scenarios and strategies to 2050".

260. TWG (2008). “Comments on Draft 3: BAT Chapter, etc".

261. Carbon_Trust_UK (2005). "Energy use in Pig Farming".

262. UK_Treasury (2006). "(The Stern report): The economics of climate change".

263. Tempany, P. (2008). "Directly heated drying".

264. Tempany, P. (2008). "Indirectly heated drying".

265. Tempany, P. (2008). "Insulation and drying".

266. Ullmann's (2000). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 6th edition electronic release".

267. EIPPCB (2006). "STM: Surface treatment of Metals and Plastics".

268. Whittaker, G. (2003). "Specifying for industrial Insulation Systems", Steam Digest Volume 4.

269. Valero, A. (2007). "Introduction to Thermodynamics for the ENE BREF".

270. Tempany, P. (2008). "Estimations and calculations", личное сообщение.

271. US_DOE (2004). "Waste Heat Reduction and recovery for improving furnace effciency, productivity and emissions performance", DOE/GO-102004-1975.

272. Finland, M. O.-. (2007). "Energy audit for transport chains".

276. Agency, S. E. P. (1997). "Energy Conservation in the Pulp and Paper Industry", 4712/4.

277. ADEME "Récuperation de chaleur par préchauffage de l'air".

278. ADEME "Space heating".

279. Czech_Republic (2006). "Energy Performance Contracting - The ESCO concept".

280. UBA_DE (2006). "Energy Services Company (ESCO) concept".

281. EWEC (2004). "Proceedings of the European Wind Energy Conference".
282. Association, E. S., http://www.electricitystorage.org/tech/technologies_technologies_caes.htm.
283. EIPPCB "Summary on Energy Efficiency issues in the BREF series".
284. Valero, A., Torres, C "Thermoeconomic analysis".
285. Valero, A. (1989). "Thermoeconomics: A new chapter of physics".
286. Frangopoulos, http://www.eolss.net/E3-19-toc.aspx.

Глоссарий

Термин на английском языке	Перевод на русский язык	Значение
µm	мкм	микрометр (1 мкм =10^{-6} м)
~	~	приблизительно равно, около
°C	°C	градус Цельсия
°R	°R	градус Ренкина
ΔT	ΔT	разница температур (увеличение или уменьшение)
ε	ε	эксергетический КПД
σ	σ	производство энтропии, Дж/К
η	η	тепловой КПД
A	A	ампер. Единица силы тока в СИ
AC		переменный ток
AEA	AEA	Австрийское энергетическое агентство или AEA Technology (британская консалтинговая компания)
aka	–	также известный как
AN	AN	нитрат аммония (NH_4NO_3)
APH	APH	подогреватель воздуха
API	API	Американский нефтяной институт
APQP	APQP	перспективное планирование качества продукции – структурированный метод определение и планирования шагов для обеспечения удовлетворенности потребителей продукцией. Метод предусматривает, в частности, обмен информацией между всеми вовлеченными сторонами для обеспечения своевременного выполнения всех намеченных шагов
ASTM	ASTM	крупная международная организация по стандартизации. Ранее – Американское общество тестирования и методик, в настоящее время –ASTM International
AT		Австрия
atm	атм	атмосфера, внесистемная единица давления (1 атм = 101325 Н/м^2)
av	–	среднее
B	B	эксергия
bar	бар	бар, внесистемная единица давления (1,013 бар = 1 атм)
bara	бар (а)	бар абсолютного давления
barg	бар (м)	бар манометрического (избыточного) давления, представляющего собой разницу между атмосферным давлением и давлением газа. На уровне моря давление атмосферного воздуха равно 0 бар (м) или 1,01325 бар (а)
BAT	НДТ	наилучшие доступные технологии
BOOS	BOOS	горелка неисправна

Bq	Бк	беккерель, единица измерения радиоактивности в СИ
BREF	СДНДТ	Справочный документ по наилучшим доступным технологиям
BTEX	BTEX	бензол, толуол, этилбензол и ксилол
C	C	скорость, м/с
C	C	удельная теплоемкость несжимаемого вещества, Дж/кг·К
C4	C4	углеводородная фракция, представляющая собой смесь соединений с четырьмя атомами углерода. Как правило, в состав фракции входят: - бутадиен (C_4H_6); - бутен-1, бутен-2 и изобутилен (C_4H_8); - N-бутаны и изобутан (C_4H_{10})
CAES	CAES	хранение энергии в форме сжатого воздуха
CAS	ССВ	система сжатого воздуха
cavitation	кавитация	при понижении давления жидкости ниже определенной величины может происходить разрыв потока жидкости с образованием полости. Это явление называется кавитацией. Кавитация может иметь место на поверхностях лопастей винта или лопаток рабочего колеса, или на любой поверхности, вибрирующей в воде (или другой жидкости) с достаточной амплитудой и ускорением. Как правило, кавитация является нежелательным явлением. При работе винтов или насосов она вызывает сильный шум, повреждение рабочих органов, вибрацию и снижение КПД. Хотя абсолютная величина энергии, выделяющейся при схлопывании полости, незначительна, плотность энергии оказывается весьма высокой, что может приводить даже к эрозии металлов, включая сталь. Кавитационная эрозия значительно ускоряет износ рабочих органов и сокращает срок службы оборудования
CC	CC	комбинированный цикл
CCGT	ГТКЦ	газовая турбина комбинированного цикла (турбина парогазового комбинированного цикла)
CCP	ССР	продукты сгорания угля
CDM	МЧР	механизмы чистого развития
CEM	НМВ	непрерывный мониторинг выбросов
CEMS	СНМВ	система непрерывного мониторинга выбросов
CEN	CEN	Европейский комитет по стандартизации
CENELEC	CENELEC	Европейский комитет по электротехнической стандартизации
CFB	ЦКС	циркулирующий кипящий (псевдоожиженный) слой
CFBC	СЦКС	сжигание в циркулирующем кипящем слое
CFC	ХФУ	хлорфтороуглероды – соединения, в состав которых входят хлор, фтор и углерод. ХФУ отличаются высокой стабильностью в тропосфере. Попадая в стратосферу, молекулы этих соединений разрушаются под действием ультрафиолетового излучения с выделением атомов хлора, которые вносят вклад в разрушение озонового слоя

CHP	CHP	когенерация (комбинированное производство тепловой и электрической энергии)
CIP	CIP	система «очистки на месте»
cm	см	сантиметр
COD	ХПК	химическое потребление кислорода: количество бихромата калия (в пересчете на кислород), необходимое для химического окисления веществ, присутсвующих в пробе воды (при температуре 150°C)
COP	COP	коэффициент преобразования, «условный КПД» (например, для теплового насоса)
COP_{HP}	COP_{HP}	коэффициент преобразования для цикла теплового насоса
COP_R	COP_R	коэффициент преобразования для холодильного цикла
c_p	c_p	удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг·K
continual improvement	постоянное улучшение	процесс последовательного повышения результативности менеджмента энергоэффективности, включая повышение энергоэффективности и исключение непроизводительных затрат энергии
CP	CP	произведение массового расхода на удельную теплоемкость вещества
cross-media effects	воздействие на различные компоненты окружающей среды	комплексный учет воздействий, связанных с выбросами и сбросами, загрязнением почв, энергопотреблением, потреблением сырья, водозабором и шумовым воздействием (т.е. со всеми аспектами, охватываемыми Директивой КПКЗ)
CTM	CTM	централизованное управление техническими службами (здания)
c_v	c_v	удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/кг·K
cv	cv	контрольный объем
d	д	день
DBB	DBB	котел с твердым шлакоудалением. Пылеугольный котел такого рода представляет собой наиболее распространенный тип угольного котла в теплоэлектроэнергетике. При сжигании пылеугольной смеси в топке такого котла около 80% твердого остатка уносится с дымовыми газами в виде золы уноса, которая затем улавливается в процессе очистки отходящих газов. Оставшиеся 20% образуют донную сухую золу – зернистый, пористый материал темно-серого цвета с крупностью частиц, характерной для песка. Донная зола удаляется струями воды
DC	DC	постоянный ток
DC	ЦХС	централизованное холодоснабжение
DCS	РСУ	распределенная система управления
DDCC	DDCC	непосредственное цифровое управление процессом сжигания
DE	DE	Германия
DH	ЦТС	централизованное теплоснабжение

DK	DK	Дания
E	E	эксергия, Дж
E	E	удельный расход
e	e	удельная эксергия, эксергия на единицу массы, Дж/кг
EA	ЭА	энергоаудит
EAM	МЭА	модель энергоаудита
EDTA	ЭДТА	этилендиаминтетрауксусная кислота
EEI	ПЭЭ	показатель энергоэффективности
EFF	EFF	схема классификации электродвигателей, введенная Европейской Комиссией и Европейским комитетом производителей электротехнического оборудования и силовой электроники (CEMEP). Схема предусматривает три класса энергоэффективности – EFF1 (высокоэффективные двигатели), EFF2 (двигатели стандартной эффективности) и EFF3 (двигатели низкой эффективности). Классификация применяется к 2-х и 4-ч полюсным двигателям номинальной мощностью от 1,1 до 90 кВт
EGR	EGR	рециркуляция выхлопных газов
EIF	КЭЕ	коэффициент энергоемкости
EII	ИЭЕ	индекс энергоемкости, разработанный компанией Solomon Associates для нефтеперерабатывающих предприятий
EIPPCB	EIPPCB	Европейское бюро по КПКЗ
ELV	ELV	предельная величина выбросов (воздействия). Норматив выбросов (воздействия), выраженный в терминах удельных величин, концентрации и/или количества загрязняющих веществ, который не может быть превышен в течение одного или нескольких периодов времени
EMAS	EMAS	Схема экоменеджмента и аудита Европейского Сообщества
emission	выбросы/сбросы (эмиссия)	непосредственный или косвенный выпуск вещества, вибрации, тепла или шума из точечных или рассеянных источников установки в атмосферу, водные объекты или почву
EMS	СЭМ	система экологического менеджмента
EN	EN	европейский норматив (стандарт)
ENE	ЭЭ	энергоэффективность
ENEMS	СМЭЭ	система менеджмента энергоэффективности
energy audit	энергоаудит	процесс выявления аспектов энергопотребления, возможностей энергосбережения и соответствующих практических подходов
energy performance	энергетическая результативность	отношение количества затраченной энергии к достигнутым результатам. Чем ниже удельное энергопотребление, тем выше энергетическая результативность
EO	EO	выход энергии
EOP, EoP	EOP, EoP	«на конце трубы»

EPC	EPC	привлечение подрядчика на условиях «договора об обеспечении энергоэффективности»
EPER	EPER	Европейский регистр выбросов загрязняющих веществ
ESCO/ESCo	ESCO/ESCo	энергетическая сервисная компания
ET	ET	общая энергия, Дж
EU-15	EU-15	15 государств – членов Европейского Союза
EU-25	EU-25	25 государств – членов Европейского Союза
EVO	EVO	организация по оценке энергоэффективности
f	f	насыщенная жидкость
FAD	FAD	подача воздуха (мера производительности компрессора)
FBC	СКС	сжигание в кипящем слое
FBCB	ККС	котел кипящего слоя
fg	fg	разница в значении того или иного свойства между насыщенным паром и насыщенной жидкостью
FI	FI	Финляндия
FMEA	FMEA	анализ характера и последствий отказов. Систематический процесс профилактического выявления возможных отказов с целью их предотвращения и минимизации связанных с ними рисков
FR	FR	Франция
g	g	ускорение земного тяготения, м/с^2
g	г	грамм
g	g	насыщенный газ
G	G	свободная энергия Гиббса
G	Г	гига, 10^9
GJ	ГДж	гигаджоуль
GMO	ГМО	генетически модифицированный организм
GPM	GPM	галлон в минуту
green certificate	«зеленый сертификат»	рыночный инструмент, призванный стимулировать освоение возобновляемых источников энергии. «Зеленые сертификаты» подтверждают экологическую ценность энергии, произведенной из возобновляемых источников. Сертификаты могут быть предметом торговли отдельно от энергии, в связи с производством которой они были выпущены
GT	ГТ	газовая турбина
GTCC	ГТКЦ	газовая турбина комбинированного цикла (турбина парогазового комбинированного цикла)
GW	ГВт	гигаватт
GWh	ГВт·ч	гигаватт-час
GWh_e	ГВт·ч$_э$	гигаватт-час электроэнергии
GWP	ПГП	потенциал глобального потепления

H	H	энтальпия, Дж
h	h	удельная энтальпия, Дж/кг
h	ч	час
hammer	удар	см. гидравлический удар
harmonic	гармоника	синусоидальная составляющая периодической волны с частотой, кратной основной частоте. Высшие гармоники представляют собой помехи, ухудшающие качество электроснабжения
HCV	ВТС	высшая теплота сгорания топлива, высшая теплотворная способность
HCFC	ГХФУ	гидрохлорфторуглероды. Класс частично галоидированных алканов (в которых не все атомы водорода замещены хлором или фтором)
HDPE	HDPE	полиэтилен высокой плотности
HF	ВЧ	высокочастотное излучение. Электромагнитное излучение в диапазоне частот 3–30 МГц
HFO	HFO	тяжелый мазут
HiTAC	HiTAC	технология высокотемпературного сжигания в воздушной атмосфере
HMI	HMI	человек-машинный интерфейс
HP	ВД	высокое давление
HPS	HPS	пар высокого давления. Пар с давлением, значительно превышающем атмосферное
HRSG	HRSG	теплоутилизационный парогенератор
HV	HV	высокое напряжение. Международная электротехническая комиссия и ее национальные аналоги (IEE, IEEE, VDE и т.д.) определяют высокое напряжение как напряжение, превышающее 1000 В для переменного и 1500 В для постоянного тока . Выделяются также такие классы, как низкое (50–1000 В переменного или 120–1500 В постоянного тока) и сверхнизкое напряжение (<50 В переменного или <120 В постоянного тока). Эта классификация используется в контексте обеспечения безопасности электротехнических устройств
HVAC	ОВКВ	отопление, вентиляция и кондиционирование
hydrotreater	установка гидроочистки	установка гидроочистки нефти от серы. Такие установки широко применяются в нефтехимической промышленности. Установка гидроочистки использует каталитический процесс для удаления серы из природного газа и таких продуктов переработки нефти, как бензины, реактивное топливо, керосин, дизельное топливо и мазуты
Hz	Гц	Герц
ID	ID	внутренний диаметр
IE	IE	Ирландия
IEA	МЭА	Международное энергетическое агентство

IEC	МЭК	Международная электротехническая комиссия
IEF	ФОИ	Форум информационного обмена (неофициальный консультативный орган, действующий в рамках реализации Директивы КПКЗ)
IGCC	IGCC	комбинированный цикл с внутренней газификацией
installation	установка	стационарный технический объект, на котором осуществляются один или более видов производственной деятельности, перечисленных в Приложении I, и любые иные прямо связанные с ними виды деятельности, технически объединенные с деятельностью, осуществляемой на данном объекте, и способные оказывать воздействие на выбросы и загрязнение
IPCC	МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
IPPC	КПКЗ	комплексное предотвращение и контроль загрязнения
IR	ИК	инфракрасное излучение. Электромагнитное излучение с длиной волны, большей, чем у видимого света, но меньшей, чем у радиоизлучения (от 750 нм до 1 мм)
IRR	ВНД	внутренняя норма доходности
ISO	ИСО	Международная организация по стандартизации
ISO 14001	ИСО 14001	стандарт ИСО по системам экологического менеджмента
IT	IT	Италия
J	Дж	джоуль
JRC	JRC	Объединенный исследовательский центр
K	К	кельвин (0ºC=273,15 K)
kcal	ккал	килокалория (1 ккал = 4,19 кДж)
kg	кг	килограмм
kJ	кДж	килоджоуль (1 кДж = 0,24 ккал)
KN	KN	кинетическая энергия
kPa	кПа	килопаскаль
kt	кт	килотонна
kWh	кВт·ч	киловатт-час (1 кВт·ч = 3600 кДж = 3,6 МДж)
l	л	литр
LCP	LCP	крупная топливосжигающая установка
LCV	НТС	низшая теплота сгорания топлива, низшая теплотворная способность

lean	бережливое производство	концепция управления бизнес-процессами, основанная, главным образом, на производственной системе Toyota (TPS), но также и на других источниках. Отличительную особенность бережливого производства составляет концентрация на устранении любых потерь («семь потерь» в исходном варианте Toyota) с целью повышения общей ценности для потребителя. Бережливое производство часто применяется совместно с подходом «шесть сигм» вследствие направленности последнего на уменьшение разброса производственных параметров
LDPE	LDPE	полиэтилен низкой плотности
LFO	LFO	легкий мазут
LHV	НТС	низшая теплота сгорания топлива, низшая теплотворная способность
lm	лм	люмен, единица измерения светового потока в СИ. 1 лм = 1 кд·ср = 1 лк/м^2
LP	НД	низкое давление
LP steam	пар низкого давления	пар с давлением, меньшим или равным атмосферному, или незначительно превышающим его
LPG	СНГ	сжиженный нефтяной газ
LPS	LPS	пар низкого давления
lx	лк	единица измерения освещенности в СИ. В фотометрии для пересчета энергетических единиц в световые (в т.ч. величину освещенности) используется функция видности, отражающая усредненные характеристики зрительного восприятия излучения с различными длинами волн
LVOC	LVOC	крупнотоннажное производство органических соединений (Справочный документ)
m	m	масса
m	м	метр
M	М	мега, 10^6
m/min	м/мин	метров в минуту
m^2	м^2	квадратный метр
m^3	м^3	кубический метр
MBPC	MBPC	упреждающее регулирование, основанное на моделях
mg	мг	миллиграмм (1 мг = 10^{-3} г)
MIMO	MIMO	многоканальный вход, многократный выход
MJ	МДж	мегаджоуль (1 МДж = 1000 кДж = 10^6 Дж)
mm	мм	миллиметр (1 мм = 10^{-3}м)

monitoring	мониторинг	процесс оценки или определения фактической величины и динамики выбросов, сбросов или других параметров, основанный на процедурах систематических, периодических или выборочных наблюдений, инспекций, пробоотбора, измерений или других методов оценки с целью получения информаций об объемах выбросов и сбросов и/или динамике загрязнения окружающей среды
MP	СД	среднее давление
MPS	MPS	пар среднего давления
MRC	MRC	Совет по медицинским исследованиям
MS	MS	государство – член ЕС
MSA	MSA	анализ измерительных систем. Подход, предусматривающий использование экспериментальных и математических методов для определения влияния изменений в процессе измерения на общую надежность технологического процесса
Mt	Мт	мегатонна (1 Мт = 10^6 т)
MTBF	СВБР	среднее время безотказной работы
mV	мВ	милливольт, 10^{-3} В
MV	МВ	мегавольт, 10^6 вольт
MVR	МРП	механическая рекомпрессия пара (может рассматриваться как разновидность теплового насоса)
M&V	M&V	измерения и подтверждение
MW	МВ	микроволновое излучение. Электромагнитное излучение с длинами волн в диапазоне от 1 мм до 1 м
MW_e	$МВт_э$	мегаватт электрической мощности
MWh_e	$МВт·ч_э$	мегаватт-час электроэнергии
MWh_h	$МВт·ч_т$	мегаватт-час тепловой энергии
MW_{th}	$МВт_т$	мегаватт тепловой мощности
N	N	сопло
n.a.	н/п, н/д	«неприменимо» или «нет данных»(в зависимости от контекста)
n.d.	н/д	данные отсутствуют
ng	нг	нанограмм (1 нг = 10^{-9} г)
NG	ПГ	природный газ
Nm^3	$Нм^3$	кубический метр при нормальных условиях (101325 кПа, 273 К)
NMHC	НМУВ	неметановые углеводороды
NMVOC	НМЛОС	неметановые летучие органические соединения

NPSH	NPSH	кавитационный запас. Величина, отражающая разность между напором и давлением насыщенных паров жидкости в любом поперечном сечении гидравлической системы. Два аспекта этой величины, значимые при эксплуатации насосов, обозначаются NPSH (a) – (имеющийся) кавитационный запас и NPSH (r) – допускаемый кавитационный запас. NPSH (a) представляет собой фактическую величину на входе (всасывающем патрубке) насоса, а NPSH (r) представляет собой минимальное значение, при котором насос может работать без кавитации. Источник: "http://en.wikipedia.org/wiki/NPSH"
OECD	ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития
OFA	OFA	острое дутье (в топках)
operator	оператор	любое физическое или юридическое лицо, которое эксплуатирует установку или управляет ей, или, там, где это предусмотрено национальным законодательством, лицо, которому переданы решающие экономические полномочия в отношении технического функционирования объекта
Otto cycle	цикл Отто	рабочий цикл четырехтактного двигателя внутреннего сгорания
P	P	пета, 10^{15}
P, p	P, p	давление
Pa	Па	паскаль
PCB	ПХД (ПХБ)	полихлорированные дифенилы (бифенилы)
PCDD	ПХДД	полихлорированные дибензодиоксины
PCDF	ПХДФ	полихлорированные дибензофураны
PDCA	PDCA	принцип «планирование–осуществление–проверка–корректировка», центральный принцип систем менеджмента, основанных на концепции последовательного улучшения
PFBC	СКСД	сжигание в кипящем слое под давлением
PI	PI	интегрированный в технологический процесс
PID	ПИД	пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование
PLC	ПЛК	программируемый логический контроллер
PM	ПМ	постоянный магнит
pollutant	загрязнитель	отдельное вещество или группа веществ, способные нанести ущерб окружающей среде или оказать на нее влияние
ppb	ppb	частей на миллиард
ppm	ppm	частей на миллион (массовых)
ppmvd	ppmvd	частей на миллион, объемных, для сухих газов
PRV	PRV	редукционный клапан
PT	PT	потенциальная энергия
Q	Q	количество теплоты, Дж

Q'	Q'	скорость изменения количества теплоты, скорость теплопередачи
QFD	QFD	структурирование функций качества
QMS	СМК	система менеджмента качества
R	R	удельная газовая постоянная, Дж/(г·К).
R&D	НИОКР	научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
R_u	R	универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).
right first time	«качество с первого раза»	подход к менеджменту качества. Составляющая всеобъемлющего менеджмента качества, подразумевающая обязательство перед потребителем не допускать ошибок. Данные подход требует приверженности сотрудников всех уровней данной цели и принятия ими соответствующей ответственности. Иногда в качестве одного из инструментов данного подхода используются кружки качества
ROI	ROI	доход на инвестиции
S	S	энтропия, Дж/К
s	s	удельная энтропия, Дж/кг·К
s	с	секунда
saturated steam	насыщенный пар	пар при температуре кипения, соответствующей его давлению
SAVE programme	программа SAVE	программа ЕС в области энергоэффективности; к настоящему времени завершена
SCADA	SCADA	система диспетчерского контроля и сбора данных
SE	SE	Швеция
SEC	УЭП	удельное энергопотребление
SEI	SEI	«Устойчивая энергия для Ирландии». Организация, целью которой является содействие устойчивому производству и использованию энергии
sensible heat	явное тепло	тепловая энергия, содержащаяся в теле, температура которого превышает температуру окружающей среды, и передаваемая посредством конвекции, теплопроводности или обоими способами. Количество явного тепла представляет собой произведение массы тела на его удельную теплоемкость и превышение температуры над базовым уровнем (температурой окружающей среды)
SG	ПГ	парогенератор
six sigma, 6 sigma, 6-σ	«шесть сигм»	подход к обеспечению качества, при котором вероятность дефекта не превышает 3,4 на миллион (т.е. в пределах допуска находится шесть стандартных отклонений)
SME	МСП	малые и средние предприятия
SPC	SPC	статистический контроль технологических процессов
specific consumption	удельное потребление	потребление ресурсов, отнесенное к какой-либо величине, например, к объему производства (затраты сырья на тонну или единицу готовой продукции и т.п.)
SPOT	SPOT	инструмент оптимизации паровой установки

steady state	стационарное состояние	ситуация, в которой все переменные состояния системы остаются неизменными, несмотря на происходящие процессы (входные и выходные материальные потоки, теплообмен и т.п.)
superheated steam	перегретый пар	пар, температура которого превышает температуру кипения при данном давлении. Перегретый пар не может находиться в контакте с водой и всегда является сухим; его поведение сходно с поведением обычного газа
t	t	время
t	т	тонна (1000 кг или 10^6 г)
T	T	температура
T	Т	тера, 10^{12}
t/yr	т/год	тонн в год
TAC	ТАС	общая допустимая концентрация
TDS	TDS	общая минерализация
TEE	TEE	сокращенное название разновидности «белых сертификатов», используемых в Италии; см. «белые сертификаты»
thyristor drive	тиристорный привод	сочетание электродвигателя постоянного тока и тиристорного регулирующего устройства (выпрямителя с фазовым управлением), которое, получая на вход переменный ток, обеспечивает питание двигателя и управление им при помощи регулируемого выходного напряжения
TOC	ООУ	общий органический углерод
top management	высшее руководство	лицо или группа лиц, занимающих высшие руководящие должности в компании или ее подразделении
TQM	TQM	всеобъемлющий менеджмент качества – всесторонний подход к менеджменту организации, основанный на принципах последовательного улучшения и постоянной обратной связи. В основе процессов TQM лежит цикл из четырех последовательных этапов: «планирование–осуществление–проверка–корректировка»
TWG	ТРГ	техническая рабочая группа
U	U	внутренняя энергия, Дж
u	u	удельная внутренняя энергия, Дж/кг
UHC	UHC	несгоревшие углеводороды
UPS	ИБП	источник бесперебойного питания. Устройство, обеспечивающее энергоснабжение оборудования за счет резервного источника питания при перебоях внешнего электроснабжения
V	V	объем
v	v	удельный объем, $м^3/кг$
V	V	вольт. Производная единица, используемая в СИ для измерения разности электрических потенциалов и электродвижущей силы

VA	ВА	вольт-ампер: единица полной мощности в цепи переменного тока. 1 ВА равен полной мощности в цепи с силой тока 1 А и электродвижущей силой 1 В. При отсутствии реактивной мощности полная мощность, измеряемая в ВА, совпадает с активной мощностью, измеряемой в ваттах. На практике чаще используются кратные единицы, например кВА и МВА
VAM	МВА	мономер винилацетата
VOCs	ЛОС	летучие органические соединения. Органические соединения, которые вследствие своих характеристик (давления насыщенных паров) способны испаряться в значительных количествах при нормальных условиях. Данная группа включает большое количество органических соединений различных классов, например, альдегиды, кетоны и углеводороды. Часто встречаются в растворителях красок, типографской краске, клеящих веществах, некоторых видах топлива и т.д. Подробнее см. Справочный документ по обработке поверхностей с использованием органических растворителей
vol-%	% (об.)	объемный процент
volute	улитка	спиральный корпус центробежного насоса, внутри которого находится ротор
W	W	работа, Дж
water hammer	гидравлический удар	резкий скачок давления жидкости в гидравлической системе, вызываемый быстрым изменением скорости (например, внезапной остановкой или изменением направления потока жидкости) и сопровождающийся возникновением ударной волны. Величина изменения давления зависит от сжимаемости жидкости. Гидравлический удар может возникнуть, например, при резком перекрытии запорного клапана на одном конце трубопровода. Это явление может иметь место и в системах парового отопления зданий. Чаще всего гидравлический удар возникает в горизонтальных отрезках паропроводов, где скапливается конденсат, и сопровождается громким звуком и значительной нагрузкой на трубу. Как правило, возникновение гидравлических ударов в паровой системе является признаком неэффективного отведения конденсата
wet steam	влажный пар	насыщенный пар, содержащий взвешенные капельки воды
WBB	WBB	котел с жидким шлакоудалением. Котел, в котором шлаки находятся на дне топки в расплавленном состоянии и свободно вытекают из топки, попадая в ванну с водой. Вступая в контакт с водой, шлаки мгновенно кристаллизуются, образуя гранулы. Применение топки с жидким шлакоудалением является предпочтительным при сжигании углей с низким выходом летучих, которые дают много шлаков. Однако такие котлы характеризуются большей величиной капитальных и эксплуатационных затрат, вследствие чего они устанавливаются реже, чем котлы с твердым шлакоудалением

white certificate	«белый сертификат»	рыночный инструмент для стимулирования деятельности по энергосбережению, которая может осуществляться операторами (распределительными компаниями, потребителями и т.д.). «Белый сертификат» официально подтверждает достигнутое энергосбережение и может быть передан (продан) другой организации, которая может зачесть его в счет выполнения своих обязательств в данной сфере
WI	WI	сжигание отходов
wt-%	% (масс.)	массовый процент
W-t-E	W-t-E	производство энергии на основе сжигания отходов
x	x	мольная доля, качество
X	X	качество (термодинамический параметр)
yr	год	год
Z	Z	коэффициент сжимаемости
z	z	высота, м

7. Приложения

7.1. Энергия и законы термодинамики

[269, Valero, 2007]

Процессы энергоаудита и энергетического обследования промышленных предприятий играют важнейшую роль в получении достоверной картины использования энергии, необходимой для целенаправленной деятельности по повышению энергоэффективности. Как правило, аудит предполагает составление материальных, энергетических и эксергетических балансов, на основе которых могут быть предложены рекомендации по минимизации потерь и/или оптимизации энергоэффективности. Общие свойства энергии и законы ее превращения, а также закономерности обмена энергией между системами изучаются в разделе физики, называемом термодинамикой. В настоящем приложении приводится краткое изложение основных понятий и законов термодинамики, уделяющее особое внимание областям, значимым в контексте оптимизации энергопотребления и энергоэффективности промышленных предприятий. Более подробно с основами термодинамики можно ознакомиться в учебниках для высших учебных заведений (см. список литературы в разделе 7.1.4.1).

7.1.1. Общие принципы

7.1.1.1. Описание систем и процессов

(Примечание: размерности физических величин в настоящем приложении приводятся в системе СИ)

Термодинамическая система представляет собой некоторое количество вещества, окруженное определенной границей, выбранной для целей термодинамического анализа. Все, что находится за пределами системы, называется внешней средой. Если система не обменивается веществом с внешней средой, она называется закрытой. В противном случае система считается открытой.

Важным классом систем, часто встречающимся в инженерной практике, являются стационарные системы. Стационарная система может быть определена как любая область пространства с заданными границами, через которую движутся материальные потоки, причем характеристики вещества как внутри системы, так и на ее границах не меняются с течением времени. Понятие стационарной системы может использоваться при анализе различных устройств, включая компрессоры, газовые и паровые турбины, котлы, насосы, теплообменники и т.д. Общей особенностью всех перечисленных устройств является то, что в них поступают и их покидают один или несколько материальных потоков. Подобная система может также называться системой в стационарном или установившемся режиме, контрольным объемом в стационарных условиях или проточной системой.

Любая характеристика системы называется свойством. В частности, к свойствам относятся такие хорошо известные параметры, как температура, объем, давление и масса. Свойства, не зависящие от размера системы (например, температура, давление, плотность), называются интенсивными, а свойства, зависящие от размера системы (масса, объем, общая энергия), – экстенсивными. Если система состоит из нескольких частей, значение экстенсивного свойства системы в целом равно сумме значений соответствующих свойств частей системы. Отношение экстенсивной величины к массе системы или количеству вещества в ней называется удельной величиной. Состояние системы определяется ее свойствами. Любое уравнение, определяющее соотношение между различными свойствами системы, называется уравнением состояния.

Состояние системы называется равновесным, если оно остается неизменным при условии изоляции системы от внешней среды. Любое изменение свойств системы называется процессом. Если ни одно из свойств системы не меняется с течением времени, состояние системы называется стационарным. Если в результате процесса система возвращается в исходное состояние, говорят, что система совершила цикл. Обратимым называется процесс, после совершения которого как система, так и внешняя среда могут быть возвращены в исходное состояние. Если это невозможно, процесс называется необратимым. Процессы, в которых участвует трение или

происходит выравнивание термодинамических потенциалов, не могут быть обратимыми. Хотя в действительности все процессы являются необратимыми, изучение обратимых процессов имеет большое значение, поскольку оно позволяет выяснить принципиальные ограничения, налагаемые законами термодинамики на различные характеристики систем и процессов.

7.1.1.2. Формы энергии и способы ее передачи

7.1.1.2.1. Формы энергии

Энергия может существовать в различных формах. Наиболее важными формами в контексте термодинамики являются внутренняя, кинетическая и потенциальная энергия. Другие формы энергии, например, электромагнитная энергия и энергия поверхностного натяжения, являются значимыми лишь в некоторых специальных классах задач и не рассматриваются в данном обзоре. Энергия измеряется в джоулях или различных внесистемных единицах, например, киловатт-часах (кВт·ч).

Внутренняя энергия (U) представляет собой форму энергии, связанную с относительным движением, расположением и внутренним состоянием микроскопических частиц вещества (атомов или молекул).

Энергия, связанная с движением системы как целого в некоторой системе отсчета, называется кинетической энергией (KN). Кинетическая энергия определяется по следующей формуле:

$$KN = \frac{mC^2}{2} \text{ (Дж)} \qquad \textbf{Уравнение 7.1}$$

где:

C – скорость системы в заданной системе отсчета;

m – общая масса системы.

Один из видов потенциальной энергии, имеющий большое практическое значение, – гравитационная потенциальная энергия – определяется положением системы как целого (высотой) в гравитационном поле Земли. Эта энергия может быть определена по следующей формуле:

$$PT = mgz \text{ (Дж)} \qquad \textbf{Уравнение 7.2}$$

где:

g – ускорение свободного падения у поверхности Земли;

z – высота центра масс системы по отношению к некоторому произвольно выбранному базовому уровню.

На практике имеет значение не абсолютная величина потенциальной энергии, а ее изменение при изменении положения (высоты) системы.

Полная энергия системы, представляющая собой сумму внутренней, кинетической и потенциальной энергии равна:

$$U_{K,P} = U + KN + PT = U + \frac{mC^2}{2} + mgz \text{ (Дж)} \qquad \textbf{Уравнение 7.3}$$

7.1.1.2.2. Передача энергии

Описанные в предыдущем разделе составляющие энергии системы являются «статическими» формами энергии, т.е. формами, в которых энергия содержится или «хранится» в системе. Однако энергия может и преобразовываться из одной формы в другую, а также передаваться от одной системы к другой. В случае закрытой системы, которая не обменивается веществом с внешней средой, энергия может передаваться за счет передачи теплоты или совершения работы. Количество теплоты и работа не являются свойствами системы, поскольку они зависят не только от начального и конечного состояния системы, но и от характеристик конкретного процесса

перехода между этими состояниями. Скорость передачи энергии измеряется в ваттах (1 Вт = 1 Дж/с).

Теплота

Количество теплоты (Q) может быть определено как мера энергии, переданной от одного тела к другому вследствие разницы температур между ними. В результате какого-либо процесса энергия может быть передана закрытой системе либо посредством совершения работы, либо за счет передачи теплоты. Теплопередача может происходить только в направлении уменьшения температуры.

Существуют три способа передачи теплоты: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Теплопроводность представляет собой передачу энергии между структурными частицами вещества в процессе их теплового движения. Теплопроводность может иметь место в твердых, жидких и газообразных веществах. Конвекция представляет собой перенос теплоты потоками движущегося твердого или газообразного вещества. Теплота, перенесенная за счет конвекции, может затем передаваться твердым телам, температура которых отличается от температуры теплоносителя (жидкости или газа). Тепловое излучение представляет собой электромагнитное изучение, испускаемое веществом за счет его внутренней энергии (теплового движения атомов и молекул). Перенос энергии электромагнитными волнами не требует каких-либо промежуточных сред и может происходить даже в вакууме.

Работа

Работа (W) определяется в термодинамике как количество энергии, переданной или полученной системой за счет изменения внешних параметров последней. Классической формой работы, которая может совершаться системой, является подъем груза на высоту. Подобно количеству теплоты, работа представляет собой меру передачи энергии между системой и внешней средой. Работа, совершаемая в единицу времени, называется мощностью; единицей измерения мощности в системе СИ является ватт (Вт).

7.1.2. Первый и второй законы термодинамики

Два важнейших закона, лежащих в основе термодинамики, состоят в следующем: (1) имеет место сохранение энергии и (2) невозможен процесс (изменение или последовательность изменений состояния системы), единственным результатом которого была бы передача тепла от более холодного тела к более горячему. Иными словами, тепло не может самопроизвольно передаваться в направлении повышения температуры

Любой процесс, не удовлетворяющий хотя бы одному из этих двух законов, является невозможным.

7.1.2.1. Первый закон термодинамики: баланс энергии

Первый закон термодинамики – закон сохранения энергии – является одним их важнейших принципов физики. Хотя существует множество формулировок этого закона, все они являются в принципе эквивалентными. В частности, первый закон термодинамики может формулироваться следующим образом:

- при любом преобразовании энергии из одной формы в другую общее количество энергии остается неизменным;
- энергия не может ни создаваться, ни уничтожаться;
- сумма всех форм энергии (включая передачу энергии) для данной системы остается постоянной;
- для системы, совершающей циклический процесс, общее количество теплоты, полученной от внешней среды (переданной внешней среде), равно общей величине работы, совершенной системой над внешней средой (совершенной средой над системой);

- общая величина работы, совершенной закрытой системой (или над системой) в результате адиабатического процесса зависит только от начального и конечного состояния процесса, но не от промежуточных состояний.

7.1.2.1.1. Баланс энергии для закрытой системы

Для закрытой системы следствием первого закона термодинамики является тот факт, что изменение полной энергии системы равно поступлению энергии в систему из окружающей среды за счет теплопередачи и совершаемой работы. Это может быть выражено при помощи следующего уравнения:

$$U_2 - U_1 = Q - W \text{ (Дж)} \qquad \textbf{Уравнение 7.4}$$

В уравнении 7.4 используется традиционное соглашение о знаках: количество теплоты считается положительным, если тепло передается от внешней среды к системе, а величина работы считается положительной, если система совершает работу над средой.

7.1.2.1.2. Баланс энергии для открытых систем

Во многих приложениях инженерной термодинамики рассматриваемой системой является т.н. «контрольный объем», через границы которого движутся потоки вещества и энергии. В этой ситуации должен выполняться принцип сохранения массы: скорость изменения массы системы равна разности общих массовых расходов входных и выходных потоков, пересекающих границы системы.

$$\frac{dm}{dt} = \sum_1 \dot{m}_1 - \sum_2 \dot{m}_2 \text{ (кг/с)} \qquad \textbf{Уравнение 7.5}$$

Мгновенный баланс энергии для такой системы может быть записан следующим образом:

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_1\left(h_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1\right) - \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2\right) \text{ (Вт)} \qquad \textbf{Уравнение 7.6}$$

В уравнении 7.6 h представляет собой удельную энтальпию входных и выходных материальных потоков:

$$h = u + Pv \text{ (Дж/кг)} \qquad \textbf{Уравнение 7.7}$$

Для систем в стационарном режиме массовые расходы входных и выходных потоков, а также мощность совершаемой работы являются постоянными. Поскольку масса системы остается неизменной, общий массовый расход входных потоков равен общему массовому расходу выходных потоков:

$$\sum_1 \dot{m}_1 = \sum_2 \dot{m}_2 \text{ (кг/с)} \qquad \textbf{Уравнение 7.8}$$

Поскольку полная энергия в стационарном режиме остается неизменной, закон сохранения энергии для такой системы можно записать в следующем виде:

$$\dot{W} - \dot{Q} = \dot{m}_1\left(h_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1\right) - \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2\right) \qquad \textbf{Уравнение 7.9}$$

7.1.2.1.3. «Эффективность в смысле первого закона»: тепловой КПД и коэффициент преобразования

Мерой эффективности тепловой системы является коэффициент полезного действия, который в общем виде равен отношению количества произведенной полезной энергии (возможно, в форме полезной работы) к количеству затраченной энергии.

Тепловой КПД тепловой машины представляет собой долю подводимого к машине тепла, которая преобразуется в полезную работу:

$$\eta = \frac{W_{общ.,вых.}}{Q_{вх.}} \text{ (безразмерн.)} \qquad \textbf{Уравнение 7.10}$$

Другим показателем эффективности тепловой машины является коэффициент преобразования (COP). Коэффициент преобразования для холодильного цикла обозначается COP_R, а для цикла теплового насоса – COP_{HP}. Эти величины определяются следующим образом:

$$COP_R = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \text{ (безразмерн.)} \qquad \textbf{Уравнение 7.11}$$

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \text{ (безразмерн.)} \qquad \textbf{Уравнение 7.12}$$

где Q_H и Q_C представляют собой количество теплоты, подводимое к «горячей» системе и отводимое от «холодной» системы соответственно.

Хотя коэффициент преобразования иногда называют «условным КПД», значение этой величины, в отличие от обычного теплового КПД, может быть больше единицы. Например, в случае теплового насоса к нагреваемому телу может подводиться больше энергии, чем затрачено полезной работы.

7.1.2.2. Второй закон термодинамики: энтропия

Второй закон термодинамики позволяет определять возможные преобразования и направление термодинамических процессов. Как и в случае первого закона, существует множество формулировок второго закона термодинамики. Две из них приведены ниже:

- невозможна тепловая машина, единственным результатом функционирования которой было бы совершение работы за счет отведения тепла от единственного источника, исходно находящегося в состоянии равновесия. Необходимым условием работы тепловой машины является наличие второго резервуара, которому передается тепло;
- невозможен циклический процесс, единственным результатом которого была бы передача тепла от более холодного тела к более горячему.

Для того чтобы предложить другие формулировки второго закона термодинамики, а также сформулировать ряд полезных следствий из него, следует ввести понятие энтропии.

7.1.2.2.1. Энтропия

Можно показать, что для любых обратимых процессов, соединяющих два заданных равновесных состояния системы, интеграл отношения переданной теплоты к температуре системы зависит лишь от начального и конечного состояния, но не от пути между ними. Это позволяет ввести функцию состояния системы (т.е., функцию, зависящую только от параметров состояния системы), называемую энтропией. Изменение энтропии определяется следующим образом:

$$\underbrace{S_2 - S_1}_{\text{Изменение энтропии}} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)}_{\text{Передача энтропии, обр. процесс}} \qquad \textbf{Уравнение 7.13}$$

Энтропия представляет собой абстрактное (недоступное непосредственному наблюдению) свойство и может рассматриваться как мера беспорядка. Используя понятие энтропии, можно предложить дополнительные формулировки второго закона термодинамики:

- общая энтропия тепловой машины и взаимодействующих с ней компонентов внешней среды должна увеличиваться, если процесс тепловой машины не является полностью обратимым;
- энтропия изолированной системы неизбежно возрастает при любом изменении состояния системы и может оставаться неизменной лишь в случае полностью обратимого процесса (эта формулировка известна как принцип возрастания энтропии).

7.1.2.2.2. Баланс энтропии для закрытой системы

В силу необратимости практически любого реального процесса энтропия не является консервативной (сохраняющейся) величиной. Баланс энтропии для закрытой системы может быть записан следующим образом:

$$\Delta S = \underbrace{S_2 - S_1}_{\text{Изменение энтропии}} = \underbrace{\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)}_{\text{Передача энтропии}} + \underbrace{\sigma}_{\text{Произв-во энтропии}}$$

Уравнение 7.14

Первый член в правой части Уравнения 7.14 связан с передачей тепла к системе или от нее в ходе процесса и может рассматриваться как передача энтропии, сопровождающая теплопередачу. Положительное значение этого члена указывает на передачу энтропии к системе, а отрицательное – от системы к внешней среде. Второй член, называемый «производство энтропии», связан с различными факторами необратимости процесса. Это член является положительным в случае любой необратимости и равен нулю лишь в случае полностью обратимого процесса.

Уравнение баланса энтропии позволяет ввести количественную меру необратимости процесса – величину производства энтропии. Различные и источники необратимости являются основными факторами снижения качества энергии, а также «потерь» энергии, на борьбу с которыми направлена деятельность по энергосбережению. Поскольку энергия не может «теряться» (уничтожаться) в строгом смысле, а на практике имеет место снижение качества энергии, важнейшей задачей каждого энергетического аналитика является обнаружение факторов необратимости процесса и выработка решений, позволяющих устранить их или ослабить их влияние.

7.1.2.3. Баланс энтропии для открытой системы

Скорость изменения энтропии в контрольном объеме равна сумме скорости изменения энтропии за счет теплопередачи через границы объема, общей скорости поступления энтропии в систему за счет материальных потоков, пересекающих границы объема, а также скорости производства энтропии внутри контрольного объема за счет необратимости происходящих в нем процессов:

$$\underbrace{\frac{dS_{cv}}{dt}}_{\text{Скорость изменения энтропии}} = \underbrace{\sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j}}_{\text{Скорость передачи энтропии с теплом}} + \underbrace{\sum_i \dot{m}_i s_i - \sum_e \dot{m}_e s_e}_{\text{Скорость передачи энтропии с массой}} + \underbrace{\dot{\sigma}}_{\text{Скорость производства энтропии}}$$

Уравнение 7.15

Члены $\dot{m}_i s_i$ и $\dot{m}_e s_e$ представляют собой скорость изменения энтропии за счет материальных потоков, поступающих внутрь системы и покидающих ее пределы соответственно. $\dot{Q}_j$ представляет собой скорость теплопередачи в области на границе системы, где температура составляет T_j. Соотношение $\dot{Q}_j / T_j$ представляет собой скорость «передачи энтропии»,

сопровождающей теплопередачу. Член $\dot{\sigma}$ представляет собой скорость производства энтропии за счет необратимости процессов в контрольном объеме.

7.1.2.4. Анализ эксергии

7.1.2.4.1. Эксергия

Эксергия термодинамической системы представляет собой теоретически максимальную полезную работу, которую система может совершить, перейдя в состояние полного равновесия с внешней средой и взаимодействуя в процессе перехода только с этой средой. Система, находящаяся в состоянии полного равновесия с внешней средой, имеет те же давление и температуру, что и среда, не имеет кинетической и потенциальной энергии, которые могли бы быть использованы, и не взаимодействует со средой. Эксергия является мерой того, насколько далеко система находится от состояния равновесия с внешней средой. После того, как состояние внешней среды задано, эксергия может быть определена исходя только из свойств системы. Поэтому сама эксергия также может считаться свойством системы. Величина эксергии не может быть отрицательной; при этом эксергия не сохраняется, но может «уничтожаться» вследствие термодинамической необратимости. Удельная эксергия (эксергия на единицу массы) определяется следующим выражением:

$$e = (u - u_0) + P(v - v_0) - T_0(s - s_0) + C^2/2 + gz \text{ (Дж/кг)} \qquad \textbf{Уравнение 7.16}$$

Здесь индекс 0 означает состояние равновесия с окружающей средой.

Если материальный поток пересекает границы контрольного объема, его сопровождает и соответствующий поток эксергии. Эта величина называется удельным потоком эксергии или физической эксергией материального потока и может быть определена по следующей формуле:

$$e = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + C^2/2 + gz \text{ (Дж/кг)} \qquad \textbf{Уравнение 7.17}$$

7.1.2.4.2. Баланс эксергии

Баланс эксергии для закрытой системы записывается как сочетание балансов энергии и энтропии. Изменение эксергии в закрытой системе равно сумме изменения эксергии за счет теплопередачи и совершения работы за вычетом уничтожения эксергии вследствие необратимости. Соответствующее уравнение имеет следующий вид:

$$\Delta E = \underbrace{E_2 - E_1}_{\text{Изменение эксергии}} = \underbrace{\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right)\delta Q}_{\text{Изменение эксергии за счет теплопередачи}} - \underbrace{\left[W - P_0(V_2 - V_1)\right]}_{\text{Изменение эксергии за счет работы}} - \underbrace{T_0\sigma}_{\text{Уничтожение эксергии}}$$

Уравнение 7.18

T_0 и P_0 представляют собой соответственно температуру и давление при условиях равновесия с внешней средой. T_j представляет собой температуру на поверхности системы в той области, где имеет место поток тепла $\dot{Q}_j$. Скорость изменения эксергии для открытой системы равна:

$$\underbrace{\frac{dE_{cv}}{dt}}_{\text{Скорость изменения эксергии}} = \underbrace{\sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right)\dot{Q}_j - \left(\dot{W}_{cv} - P_0\frac{dVcv}{dt}\right) + \sum_i \dot{m}_i e_i - \sum_e \dot{m}_e e_e}_{\text{Скорость поступления эксергии через границы системы (с теплотой, работой и материальными потоками)}} - \underbrace{\dot{I}}_{\text{Скорость уничтожения эксергии}}$$

Уравнение 7.19

7.1.2.4.3. «Эффективность в смысле второго закона». Эксергетический КПД

Тепловой КПД и коэффициент преобразования учитывают только первый закон термодинамики, не учитывая изменения способности к совершению полезной работы. Понятие эксергетического КПД («эффективности в смысле второго закона»), представляющего собой меру близости процесса к обратимому, позволяет преодолеть этот недостаток. Эксергетический КПД позволяет различать способы использования энергоресурсов, более и менее эффективные с термодинамической точки зрения. Поэтому данное понятие может использоваться для оценки инженерных мероприятий, направленных на повышение эффективности той или иной тепловой системы. В наиболее общей форме эксергетический КПД может быть определен как отношение полученной эксергии к затраченной:

$$\varepsilon = \frac{E_{получ.}}{E_{затр.}} \qquad \textbf{Уравнение 7.20}$$

Конкретные выражения для эксергетического КПД могут принимать различные формы в зависимости от типа системы. Так, для тепловой машины затраченная эксергия представляет собой уменьшение эксергии тепла, переданного машине, т.е. разность эксергий тепла, подведенного к машине, и отведенного от нее. Полученная эксергия представляет собой общую полезную работу. В случае холодильной установки или теплового насоса затраченная эксергия представляет собой работу, совершенную над системой для осуществления холодильного цикла или цикла теплового насоса. При этом полученная эксергия в случае теплового насоса представляет собой эксергию, подведенную к «горячей» системе, а в случае холодильной установки – эксергию, отведенную от «холодной» системы.

7.1.3. Диаграммы свойств, таблицы свойств, базы данных и программы

7.1.3.1. Диаграммы свойств

Согласно постулату состояния, задание любых двух свойств равновесного состояния системы, состоящей из простого чистого вещества, однозначно определяет любой третье свойство. Из этого следует, в частности, что состояние однокомпонентной системы (системы, состоящей из одного чистого вещества) может быть представлено точкой на двумерной диаграмме, по осям которой отложены два независимых свойства. Пять основных свойств, обычно используемых при построении диаграмм свойств, включают: давление (P), температуру (T), удельный объем (v), удельную энтальпию (h) и удельную энтропию (s). Для системы, состоящей из двух фаз или компонентов, вводится дополнительное свойство «качество» (x), отражающий состав системы. Чаще всего используются следующие виды диаграмм свойств: давление – температура (P–T), давление – удельный объем (P–v), температура – удельный объем (T–v), температура – (удельная) энтропия (T–s), а также (удельная) энтальпия – (удельная) энтропия (–s). Все эти диаграммы могут быть полезны для графического представления различных процессов. Кроме того, три первые диаграммы могут использоваться для иллюстрации соотношения между тремя фазами вещества.

В качестве примера на рис. 7.1 представлена диаграмма T–s. Диаграммы T–s широко применяются в термодинамике, поскольку они удобны для наглядного представления необратимости процессов. На такой диаграмме, в частности, можно построить линии, соответствующие постоянному объему, постоянному давлению и постоянной энтальпии. Вертикальные линии на диаграмме T–s представляют процессы изоэнтропийного (происходящего без изменения энтропии) расширения или сжатия, а горизонтальные линии внутри колоколообразной кривой представляют изотермические процессы изменения фазового состояния (испарения или конденсации).

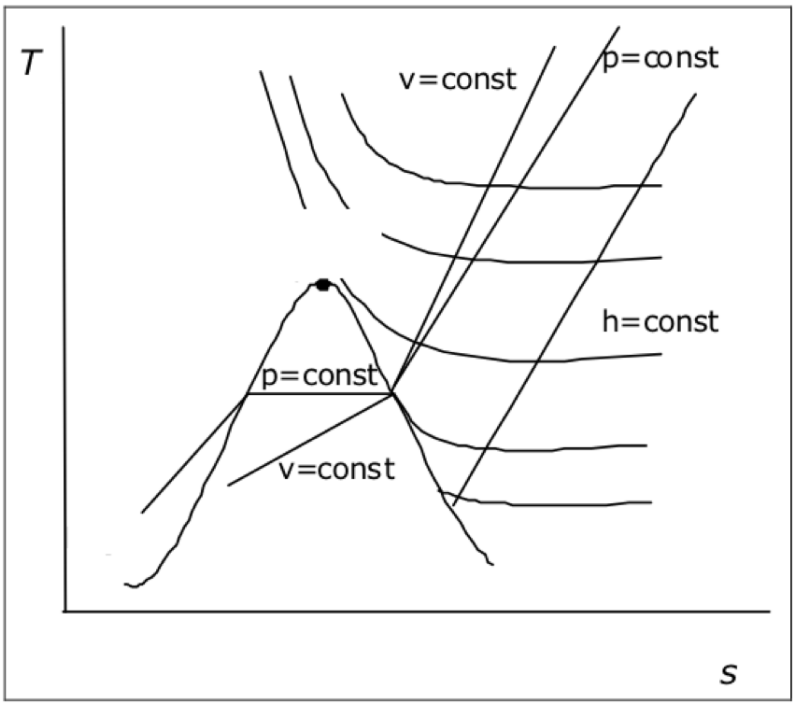


Рисунок 7.1: Диаграмма температура – энтропия

7.1.3.2. Таблицы свойств, базы данных и программное моделирование

Существует большое количество таблиц свойств, отражающих зависимости между различными свойствами различных веществ. Однако существующие потребности не могут быть в полной мере удовлетворены при помощи одних лишь таблиц, поскольку на практике часто возникает необходимость в получении информации о термодинамических свойствах самых разных веществ, как чистых, так и смесей. Поэтому создано множество компьютерных баз данных и моделей, позволяющих получать информацию по свойствам веществ. В частности, подобные базы и модели занимают важное место в любом пакете моделирования термодинамических процессов. Точность информации по свойствам веществ крайне важна – недостоверность или недоступность данных может привести к неверной оценке привлекательных решений по повышению энергоэффективности и ошибочному отказу от их реализации. К счастью, существует большое количество литературных источников, баз данных и программ, которые могут использоваться для получения необходимой информации. Однако при использовании различных источников иногда встречаются противоречия. Подобные ситуации особенно часто возникают при оценке свойств смесей, поведение которых заметно отклоняется от идеальных моделей. Поэтому точность, качество и актуальность информации во многих случаях являются критически важными. Авторитетные информационные ресурсы включают, в частности, базы данных Американского нефтяного института (American Petroleum Institute, API), Проектного института по физическим свойствам (Design Institute for Physical Property, DIPPR of AIChE), Германского общества химической инженерии и биотехнологии (Deutsche Gesellshaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA), Службы данных по физическим свойствам (Physical Property Data Service, PPDS), а также Базу данных Бельштейна по органической химии (Beilstein's Database of Organic Chemistry). Каждый ресурс имеет свою специфику. Так, например, DIPPR отличается обширной подборкой данных по чистым веществам, тогда как база данных DECHEMA является основным источником по смесям.

На рынке существует большое количество коммерческих программ с обширными возможностями в области моделирования термодинамических свойств. Наиболее широко известны такие коммерческие программы, как ASPEN PLUS, HYSIM и PRO/II. Однако возможности этих программ значительно превосходят потребности аналитика, решающего стандартные задачи по оценке вариантов энергосбережения; с другой стороны, в некоторых областях могут требоваться более специализированные возможности, чем предлагаемые указанными пакетами. Использование этих программ требует значительных затрат на их приобретение и серьезных усилий для их освоения. В то же время существуют программы «промежуточного уровня»,

позволяющие аналитику реализовывать свои собственные решения в области моделирования, и включающие данные по чистым веществам. В качестве примеров могут быть названы, например, EES, Thermoptim, и BBlocks. Поэтому аналитику необходимо потратить некоторое время и усилия на анализ существующих решений и выбор варианта, отвечающего его потребностям. Самостоятельное моделирование без использования каких-либо вспомогательных инструментов в большинстве случаев не является оптимальным вариантом.

7.1.3.3. Источники неэффективности

Этот вопрос обсуждается в разделе 1.2.2.6.

7.1.4. Использованные обозначения

Обозначение	**Величина**	**Единица измерения**
C	Скорость	м/с
E	Эксергия	Дж
$\dot{E}$	Скорость изменения эксергии	Дж/с
e	Удельная эксергия	Дж/кг
E_T	Полная энергия	Дж
g	Ускорение свободного падения	м/с^2
H	Энтальпия	Дж
h	Удельная энтальпия	Дж/кг
I	Потеря («уничтожение») эксергии	Дж
$\dot{I}$	Скорость «уничтожения» эксергии, мера необратимости	Дж/с
KN	Кинетическая энергия	Дж
m	масса	кг
$\dot{m}$	Массовый расход	кг/с
P, p	Давление	Па
PT	Потенциальная энергия	Дж
Q	Количество теплоты	Дж
$\dot{Q}$	Скорость изменения количества теплоты, поток тепла	Дж/с
S	Энтропия	Дж/К
s	Удельная энтропия	Дж/кг·К
t	Время	с
T	Температура	К
U	Внутренняя энергия	Дж
u	Удельная внутренняя энергия	Дж/кг
V	Объем	м^3
v	Удельный объем	м^3/кг
W	Работа	Дж
$\dot{W}$	Мощность, скорость совершения работы	Вт

z	Высота, положение	м
η	Тепловой КПД	безразм.
ε	Эксергетический КПД	безразм.
σ	Увеличение (производство) энтропии	Дж/К
$\dot{\sigma}$	Скорость производства энтропии	Дж/К·с
Нижние индексы		
0	Условия среды	
av	Среднее значение свойства	
C	Компрессор	
cv	Контрольный объем	

7.1.4.1. Библиография

Anderson, E. E. Thermodynamics. International Thomson Publishing. 1994

Avallone, E. A. Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers. 9th Edition.

McGraw Hill. 1978

Bejan, A.; Tsatsaronis, G. and Moran, M. Thermal Design and Optimization. Wiley Interscience. 1996

Çengel, Y. A. and Boles, M. A. Thermodynamics: an engineering approach. International

Edition. Mc Graw Hill. 1994

Danner R.P.; Spencer C.F.; Nagvekar M. Thermophysical Properties for Design

Simulations in Developments in the Design of Thermal Systems, Ed. By R.F. Boehm, Cambridge Univ. Press, 1997

Hering, E. and Modler, K. Grundwissen des Ingenieurs. München: Carl Hanser Verlag, cop. 2002

Lozano, M.A. and Valero, A. Determinación de la exergía para sustancias de interés industrial. Ingeniería química. Marzo 1986

Moran, M. J. and Shapiro, H. N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 4th Edition. John Wiley & Sons. 2000

Moran, M. J.; Shapiro, H.N.; Munson, and Dewitt. Introduction to thermal systems engineering. John Wiley & Sons. 2003

Moore, W.J. Physical Chemistry, 1974

Perry, R. H. and Green, D. Perry's chemical engineers' handbook. Mc Graw Hill. 1984

The CRC Handbook of thermal engineering. Kreith F. Editor in chief. CRC Press Springer. 2000

Valero, A. and Lozano, M.A. Los balances de energía, entropía, exergía y energía libre. Métodos para el diagnóstico de instalaciones industriales. Ingeniería química. Mayo 1987

Valero, A. and Lozano M.A. An Introduction of Thermoeconomics in Developments in the Design of Thermal Systems, Ed. By R.F. Boehm, Cambridge Univ. Press, 1997

Valero-Capilla A. and Valero-Delgado A. Fundamentals of energy thermodynamics, 2005

Wark, K. Thermodynamics. Mc Graw Hill. 1983

7.2. Примеры термодинамической необратимости

7.2.1. Пример 1. Дросселирование

Дросселирование широко применяется в промышленности для регулирования давления; как правило, оно осуществляется при помощи клапанов. Поскольку процесс дросселирования является изоэнтальпийным (т.е. не сопровождается изменением энтальпии), потери энергии в этом процессе отсутствуют, и, согласно первому закону термодинамики, КПД этого процесса является максимально возможным.

Тем не менее, в процессе дросселирования имеет место типичная механическая необратимость. Снижение давления сопровождается повышением энтропии рабочего тела без какого-либо дополнительного полезного результата. Как следствие, происходит потеря эксергии, и способность рабочего тела к совершению работы (например, в турбине) снижается.

Поэтому, если условия технологического процесса диктуют необходимость снижения давления рабочего тела, желательно использовать для этого изоэнтропийный процесс расширения, который сопровождался бы совершением полезной работы (например, в турбодетандере). Если это невозможно, следует поддерживать рабочее давление в системе как можно более высоким, избегая его искусственного снижения. Это позволит не только избежать потерь эксергии при дросселировании, но и сократить потребность в дополнительных насосах или компрессорах для обеспечения транспортировки рабочего тела (и соответствующих затратах энергии).

Распространенной практикой на промышленных предприятиях является поддержание на входе турбины постоянного давления, соответствующего номинальному уровню, вне зависимости от колебаний давления подаваемого рабочего тела. Как правило, такая практика требует интенсивного использования впускных клапанов для регулирования давления, что не всегда является рациональным. С точки зрения второго закона термодинамики, более эффективной является эксплуатация турбины при давлении системы («плавающем давлении») и полностью открытыми впускными клапанами.

Общей рекомендацией является использование настолько больших клапанов, насколько это возможно. В этом случае удовлетворительное дросселирование может быть достигнуто при перепаде давления 5–10% при максимальном расходе рабочего тела, в отличие от перепада 25–50% при использовании традиционных клапанов, размер которых является слишком малым. Размеры насосов, обеспечивающих транспортировку рабочего тела, также должны быть подобраны с учетом конкретных условий и диапазона их возможных вариаций.

Наконец, следует отметить, что трубопроводы также оказывают дросселирующее действие, поскольку давление рабочего тела постепенно снижается по мере движения по трубопроводу. Поэтому грамотное проектирование трубопровода, предусматривающее минимальное количество препятствий для движения рабочего тела (клапанов, колен, изгибов), а также выбор оптимального материала, позволяющего уменьшить трение, позволяют свести к минимуму потери эксергии при транспортировке.

В любом случае, необходим анализ эксергии, охватывающий все основные типы энергоресурсов, используемых на предприятия, поскольку случаи необратимости затруднительно или невозможно выявить, анализируя ситуацию с токи зрения первого закона термодинамики.

Численный пример

Для питания турбонасоса на тепловой электростанции отбирается пар от турбины высокого давления (P = 40 кг/см^2, t = 350 ºC).

Поскольку для работы турбонасоса требуется входное давление 8 кг/см^2, необходимо дросселирование пара, поступающего от турбины высокого давления (см. рис. 7.2). Процесс схематически представлен в координатах T–s и h–s на рис. 7.3. Ниже приведен расчет эксергии на входе и выходе расширительного клапана; предполагается, что расход пара составляет 45 т/ч.

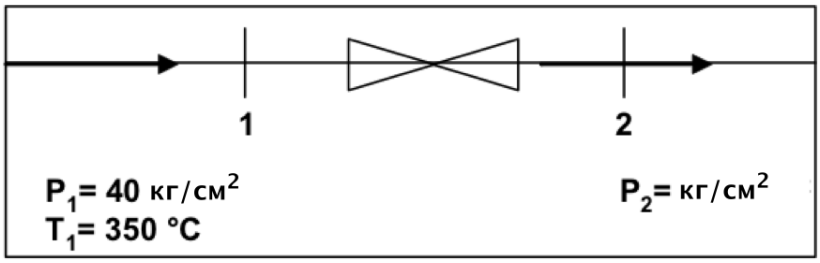


Рисунок 7.2. Процесс дросселирования пара

Решение

Согласно первому закону термодинамики, данный процесс является изоэнтальпийным, так как в нем не совершается работа и не происходит теплообмена с внешней средой:

$$0 = m_1(H_2 - H_1) \Rightarrow H_2 = H_1 \qquad \textbf{Уравнение 7.21}$$

Из таблиц свойств можно получить следующие величины удельной энтальпии и удельной энтропии:

- при P_1 и t_1:
  - h_1 = 3091,95 кДж/кг и S_1 = 6,58 кДж/кг·K
- при P_2 и $h_2 = h_1$ (изоэнтальпийный процесс):
  - t_2=319ºC и S=7,30 кДж/кг·K

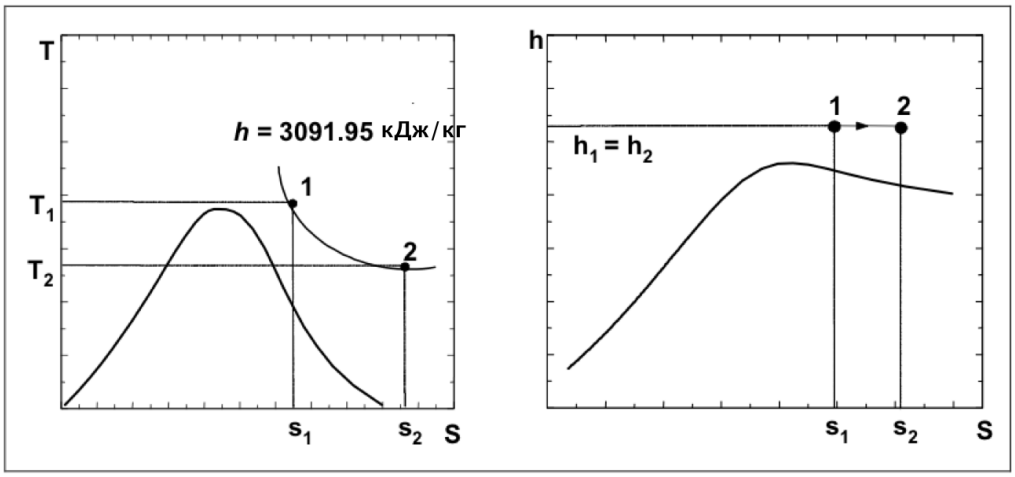


Рисунок 7.3: Диаграммы T-s и h-s для рассматриваемого процесса дросселирования пара

Удельная эксергия может быть рассчитана по следующей формуле:

$$e = h - T_0 s \qquad \textbf{Уравнение 7.22}$$

где T_0 = 273 K; предполагается, что кинетическая и потенциальная энергия потоков пренебрежимо малы по сравнению с их тепловой энергией. Следовательно:

e_1 = 3091,95 – 273 · 6.58 = 1295,61 кДж/кг

e_2 = 3091,95 – 273 · 7.30 = 1099,05 кДж/кг

Процесс является термодинамически необратимым – в нем имеют место уменьшение эксергии и увеличение энтропии. Для расчета общих потерь эксергии можно использовать уравнение баланса эксергии для системы. Поскольку работа и теплообмен с внешней средой отсутствуют, уравнение баланса энергии сводится к следующей форме:

$$I = m(e_1 - e_2) = 45000\ кг/ч \cdot \frac{1}{3600} ч/с \cdot (1295{,}61 - 1099{,}05) = 2457\ кВт = 2{,}457\ МВт$$

7.2.2. Пример 2. Теплообменники

Теплообменник представляет собой устройство, в котором два потока рабочего тела обмениваются тепловой энергией. Любой теплообмен является результатом разницы температур и, как следствие, всегда связан с увеличением энтропии и уменьшением эксергии. Поэтому при проектировании теплообменных систем должен быть найден компромисс между эффективностью теплообмена и стремлением к минимизации потерь эксергии.

В противоточном теплообменнике (см. рис. 7.4) горячий теплоноситель охлаждается с температуры $T_{1,in}$ до температуры $T_{1,out}$, отдавая тепло холодному теплоносителю, который за счет этого нагревается с температуры $T_{2,in}$ до $T_{2,out}$. Как правило, в теплообменнике не совершается работы, а изменение потенциальной и кинетической энергии является пренебрежимо малым. В первом приближении можно пренебречь и изменением давления теплоносителей. В этом случае необратимость процессов в теплообменнике (потеря эксергии) может быть выражена следующей формулой:

$$I = (e_{1,in} + e_{2,in}) - (e_{1,out} + e_{2,out}) = (h_{1,in} + h_{2,in}) - (h_{1,out} + h_{2,out}) -$$

$$- T_0\left[(s_{1,in} + s_{2,in}) - (s_{1,out} + s_{2,out})\right] = T_0\left[m_1 Cp_1 \ln\frac{T_{1,out}}{T_{1,in}} + m_2 Cp_2 \ln\frac{T_{2,out}}{T_{2,in}} \right] \qquad \textbf{Уравнение 7.23}$$

Из уравнения 7.23 следует, что *I* всегда является положительной величиной, которая возрастет с увеличением разницы температур на входе и выходе теплообменника. Следует отметить, что противоточный теплообменник (с движением теплоносителей в противоположных направлениях) всегда является более эффективным с точки зрения эксергии, чем прямоточный теплообменник (в котором теплоносители движутся в одном и том же направлении).

Основными факторами термодинамической необратимости в теплообменниках являются потеря давления, связанная с циркуляцией теплоносителей, а также разница температур, при которой происходит теплообмен. Потеря давления может быть снижена за счет уменьшения расхода теплоносителей, а степень необратимости, связанной с теплообменом, может быть уменьшена за счет снижения разности температур. Однако при этом для поддержания той же интенсивности теплообмена понадобится большая площадь теплообменных поверхностей, т.е., потребуются большие габариты оборудования.

Идея распространения теплообмена на всю установку, т.е. рассмотрения всех потоков, нуждающихся в нагреве или охлаждении, в рамках единой системы, ведет к энергетической интеграции процессов и использованию «энергетических каскадов», в которых в каждом конкретном случае теплообмена разница температур между потоками оказывается относительно небольшой. Этот принципиальный подход лежит, в частности, в основе пинч-анализа, применяемого с целью интеграции теплообменных сетей. Те же методы интеграции могут применяться и к энергетическим циклам, холодильным циклам и тепловым насосам, позволяя использовать их наиболее эффективным образом. В конечном счете, подобные процедуры позволяют обеспечить минимальное потребление тепла и холода из любых источников (например, в форме пара и холодной воды соответственно), а также определить необходимые для этого термодинамические и технологические условия.

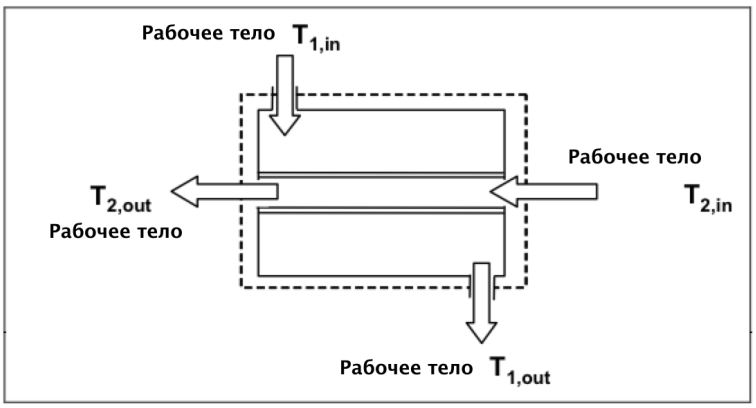


Рисунок 7.4: Противоточный теплообменник

Численный пример

В пароперегревателе котлоагрегата (см. рис. 7.5), происходит повышение температуры пара с 350 до 540ºC при давлении 40 кг/см^2; расход пара составляет 1100 т/ч. Пар получает тепло от дымовых газов, образующихся в процессе сгорания. Средняя температура теплообмена составляет 1000 ºC. На рис. 7.6 показаны диаграммы T–s и h–s для данного процесса, а также количество теплоты, полученное паром, и увеличение энтропии.

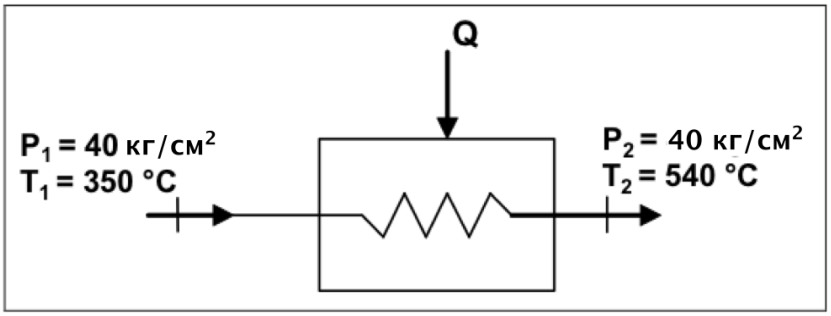


Рисунок 7.5: Нагрев пара в пароперегревателе

Решение

Энергетический баланс системы, представленной на рис. 7.5, может быть записан в следующем виде:

$m(h2 – h1) = Q$

Из таблиц свойств можно получить следующие значение удельной энтальпии и энтропии:

- при P_1 и t_1:
  - $h_1 = 3091{,}95$ кДж/кг и $S_1 = 6{,}58$ кДж/кг·K
- при P_2 и t_2:
  - $h_1 = 3530{,}85$ кДж/кг и $S_1 = 7{,}21$ кДж/кг·K

Таким образом, количество тепла, передаваемое пару в единицу времени, составляет:

$Q = 1100000 \cdot (3530{,}85 – 3091{,}95) = 482{,}7 \cdot 10^6$ кДж/ч

Соответствующие диаграммы T–s и h–s показаны на рис. 7.6:

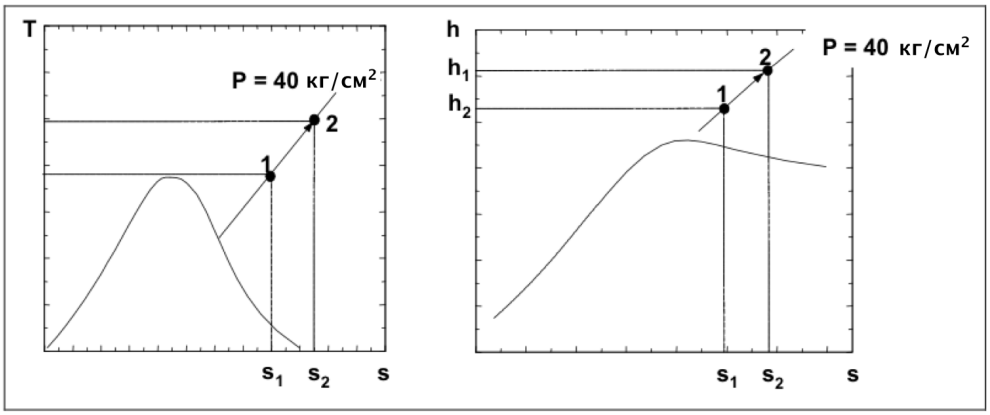


Рисунок 7.6: Диаграммы T–s и h–s для процесса нагрева пара

Удельная эксергия может быть рассчитана по следующей формуле:

$e = h – T_0 s$

где $T_0 = 273$ K; предполагается, что кинетическая и потенциальная энергия потоков пренебрежимо малы по сравнению с их тепловой энергией. Следовательно:

$e_1 = 3091{,}95 – 273 \cdot 6.58 = 1295{,}61$ кДж/кг

$e_2 = 3530{,}85 – 273 \cdot 7.21 = 1562{,}52$ кДж/кг

Потери эксергии в процессе составляют:

$$I = \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right)\dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_1(e_1 - e_2) =$$

$$= \left(1 - \frac{273}{1273}\right) \cdot 482{,}7 \cdot 10^6 + 1{,}1 \cdot 10^6 \cdot (1259{,}61 - 1562{,}52) = 85{,}82 \cdot 10^6 \; кДж/ч = 23{,}84 \; МВт$$

7.2.3. Пример 3. Процессы перемешивания

Смешивание жидкостей или газов с различными химическими составами или температурами – еще один процесс, широко применяемый в промышленности. Процессы смешивания или обратные им процессы разделения смесей используются, в частности, для управления температурой потоков, при очистке продукта, дистилляции и т.п.

Рассмотрим, например, адиабатическое смешивание двух идеальных газов, при котором температура и давление остаются неизменными. Предположим, что в смешивании участвуют n_1 и n_2 молей первого и второго газа соответственно. Увеличение энтропии в процессе смешивания равно сумме увеличения энтропии каждого газа в процессе расширения от объема, соответствующего исходному давлению P (равному давлению смеси газов после смешивания) до объема, соответствующего парциальному давлению данного газа в смеси. Таким образом:

$$\sigma = \frac{1}{n_1 + n_2}\left[n_1 R \ln\frac{P}{P_1} + n_2 R \ln\frac{P}{P_2}\right] \text{ (Дж/К)}$$

Мольная доля отдельного вещества в смеси может быть выражена как $x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$. Принимая во внимание, что $P_i = x_i P$, получаем:

$$\sigma = -R\sum x_i \ln x_i \text{ (Дж/К)}$$

Тогда потеря эксергии в процессе смешивания может быть рассчитана следующим образом:

$$I = \sigma T_0 = -RT_0 \sum x_i \ln x_i \text{ (Дж)}$$

Это выражение всегда является положительным. В случае смеси двух веществ оно стремится к нулю при стремлении x_i к нулю (т.е., когда смесь представляет собой практически чистое вещество – второй компонент). На рис. 7.7 показана зависимость общей потери эксергии и составляющей этой величины, связанной с одним из компонентов смеси, в зависимости от мольной доли этого компонента x_i. Как видно, функция $-\sum x_i \ln x_i$ (для смеси двух веществ) симметрична относительно значения $x_i = 0{,}5$.

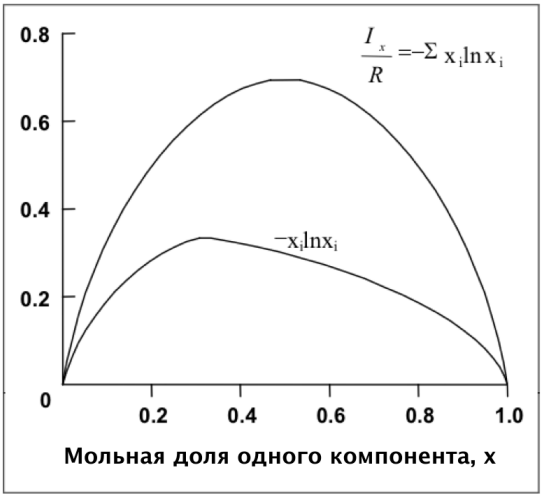


Рисунок 7.7: Зависимость I/RT_0 от мольной доли одного из компонентов смеси

Для рассматриваемой смести двух веществ потеря эксергии (мера необратимости при смешивании) равна:

$$I = -RT_0\left[x\ln x + (1-x)\ln(1-x)\right]$$

При этом производная функции *I(x)* равна:

$$\frac{dI}{dx} = -RT_0\ln\left[\frac{x}{(1-x)}\right]$$

Некоторые значения этой функции и производной приведены в табл. 7.1:

x	**I/RT_0**	**$(1/RT_0)dI/dx$**
0,10	0,325	2,20
0,01	0,056	4,96
10^3	$7{,}91 \cdot 10^{-3}$	6,91
10^4	$1{,}02 \cdot 10^{-3}$	9,21

Таблица 7.1: Некоторые значения функции I и ее производной

Если рассматривать один компонент смеси как продукцию (целевой компонент), а второй – как примесь, то производная $\frac{dI}{dx}$ отражает величину работы, необходимой для повышения чистоты продукции на заданную величину. Как можно видеть, эта величина увеличивается по мере того, как концентрация (мольная доля) удаляемой примеси x_i стремится к нулю. Именно величина этой производной определяет эксергетическую ценность смеси.

Смеси большего количества компонентов могут рассматриваться аналогичным образом. Максимальные значения функции $-\sum x_i \ln x_i$ для эквимолярных смесей приведены в таблице 7.2:

N	$-\sum x_i \ln x_i$	**N**	$-\sum x_i \ln x_i$
2	0,693	5	1,609
3	1,099	7	1,946
4	1,386	10	2,302

Таблица 7.2. Максимальные значения для смесей нескольких компонентов

По мере роста числа компонентов степень необратимости (величина потери эксергии при смешивании) увеличивается. Из этого следует ряд рекомендаций по повышению энергоэффективности процессов, связанных со смесями и смешиванием. Прежде всего, процессов смешивания по возможности следует избегать. Получение пара высокого качества или высокочистого вещества требует значительной эксергии, которая теряется при смешивании данного потока с потоком низкого качества (даже если при этом не происходит потерь энергии). Во-вторых, не следует превышать требуемого уровня чистоты продукции. Если же этот уровень превышен, ни в коем случае не следует смешивать полученную продукцию с другими потоками низкого качества.

Например, если продукция с чистотой 0,1% смешивается в равных долях с продукцией с чистотой 1%, чистота получившейся смеси составит 0,55%, однако эксергетическая ценность такой продукции значительно ухудшится. Это связано с тем, что эксергетическая ценность определяется величиной производной $\frac{dI}{dx}$, а не средним значением *x*.

Может оказаться целесообразным пересмотр и, если это возможно, «смягчение» некоторых спецификаций продукции. Эта рекомендация особенно актуальна для химической промышленности. В этой отрасли часто встречается ситуация, когда высококачественная продукция одной установки смешивается с низкокачественной продукцией другой установки для получения продукции средней степени чистоты.

Численный пример

Пар, имеющий давление 180 кг/см^2 и температуру 550ºС, смешивается с насыщенной жидкостью при 180 кг/см^2 для обеспечения температуры пара, отвечающей спецификациям оборудования (см. рис. 7.8). Массовый расход пара составляет 1100 т/ч, а жидкости - 30 т/ч. Окончательная температура смеси и увеличение энтропии в результате смешивания представлены на диаграмме T–s (см. рис. 7.9).

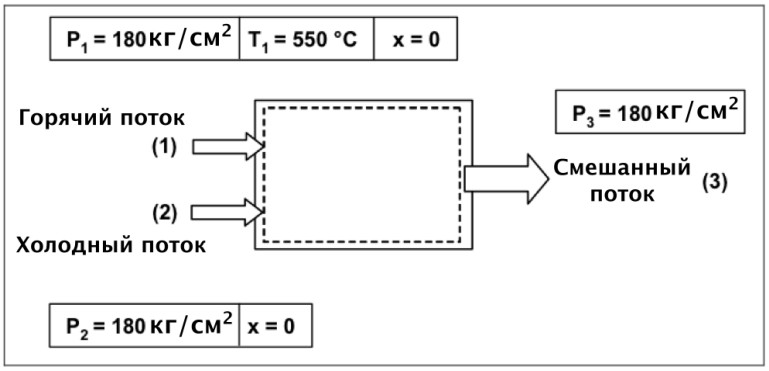


Рисунок 7.8. Смешивание двух потоков

Решение

Материальный баланс системы может быть записан следующим образом:

$m_1 + m_2 = m_3$

Поскольку в процессе смешивания не совершается работа, а изменением кинетической и потенциальной энергии можно пренебречь, энергетический баланс сводится к следующему соотношению:

$m_1h_1 + m_2h_2 = (m_2 + m_1)h_3$

При P_1 и T_1 удельные энтальпия и энтропия, приводимые в таблицах свойств, составляют $h_1 = 3414{,}2$ кДж/кг и $s_1 = 6{,}41$ кДж/(кг · K) соответственно. Для холодного потока (2) состояние насыщенной жидкости однозначно определяется одним параметром (в данном случае – давлением). Соответствующие удельные величины для данного потока составляют $h_2 = 1717{,}06$ кДж/кг и $s_2 = 3{,}85$ кДж/(кг · K). Тогда из записанного выше уравнения энергетического баланса следует:

$$h_3 = \frac{1{,}1 \cdot 10^6 \cdot 3414{,}2 + 30 \cdot 10^3 \cdot 1717{,}06}{1{,}13 \cdot 10^6} = 3369{,}14\ кДж/кг$$

При заданных параметрах смешанного потока (3) h_3 и P_3, $t_3 = 534$ºС, а $s_3 = 6{,}35$ кДж/(кг · K). Удельная эксергия для каждого из потоков может быть рассчитана по следующей формуле:

$e = h - T_0s$

где $T_0 = 273$ K; предполагается, что кинетическая и потенциальная энергия потоков пренебрежимо малы по сравнению с их тепловой энергией. Следовательно:

$e_1 = 1664{,}52$ кДж/кг;

$e_2 = 666{,}67$ кДж/кг;

$e_3 = 1634{,}55$ кДж/кг.

Степень необратимости процесса может быть получена на основе баланса эксергии:

$I = m_1(e_1 - e_3) + m_2(e_2 - e_3)$

Используя значения удельной эксергии потоков, получаем:

I = 1,04 МВт

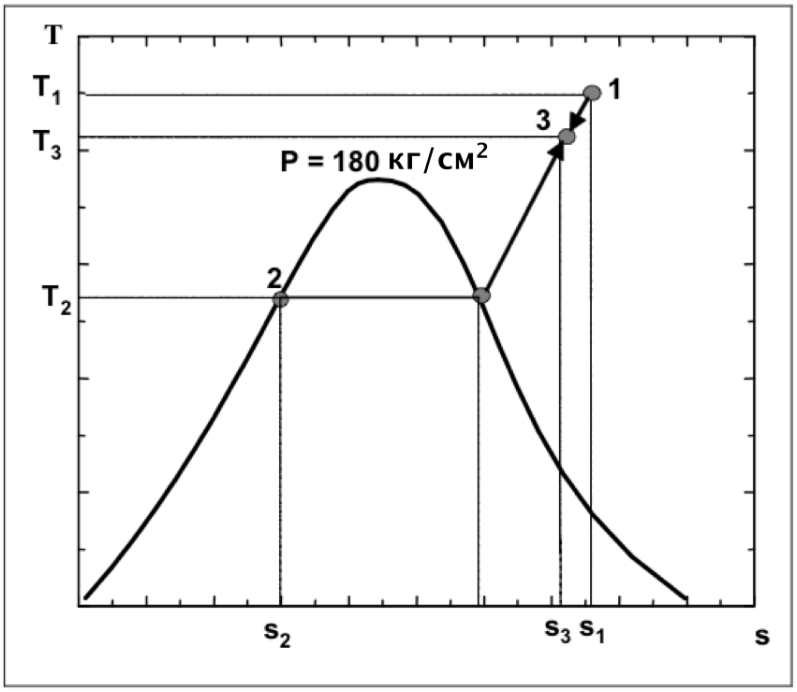


Рисунок 7.9: Диаграмма T–s для процесса смешивания, рассматриваемого в примере

Замечания ко всем трем примерам

Чем больше степень необратимости процессов, реализуемых в системе, тем больше потенциал для повышения энергоэффективности последней. Помимо значительной разницы в давлении, температуре и/или в химических потенциалах, существенной причиной необратимости может быть большой промежуток времени и/или расстояние между производством и потреблением энергии. Время является важным фактором, определяющим степень необратимости процессов. С течением времени энергетическая система стремится к самопроизвольному уменьшению температуры, давления и химических потенциалов для достижения равновесия с окружающей средой. Существуют две принципиальные стратегии предотвращения этого:

- непосредственное соединение источников энергии с ее потребителями;
- окружение системы жесткими (не передающими давление) адиабатическими (теплонепроницаемыми) стенками и/или поддержание химической системы в метастабильном состоянии. Иными словами, эти стратегия сводится к изоляции системы от окружающей среды, что позволяет поддерживать ее интенсивные свойства с течением времени.

7.3. Примеры анализа энергоэффективности производства

7.3.1. Производство этилена методом парового крекинга

Установка парового крекинга использует в качестве сырья продукты нефтепереработки и производит пропилен и этилен, которые, в свою очередь, являются основным сырьем для производства полимеров. Крекинг является чрезвычайно энергоемким процессом – стоимость энергии составляет более половины эксплуатационных затрат установки.

Сырьем для крекинг-установки (потоками F_i в терминах раздела 1.4.2), как правило, являются нафта, сжиженный нефтяной газ и газойль, поступающие с нефтеперерабатывающих производств. Основной продукцией крекинга (поток P_1) являются этилен и пропилен. При анализе производства, как правило, учитываются также три ценных побочных продукта – бутадиен, бензол и водород. Однако бутадиен и бензол в чистом виде не являются выходными потоками процесса крекинга. Бутадиен является частью углеводородной фракции С4, а бензол – частью

бензиновой фракции. Как правило, эти соединения извлекаются из соответствующих фракций на специальных установках, которые не рассматриваются в качестве составляющих крекинг-установки.

Как правило, отношение количества этих побочных продуктов к количеству произведенного этилена находится в относительно узком диапазоне (от 1,7 до 2,3). Конкретное значение зависит от условий крекинга, а также типа и качества сырья.

Если основу экономики предприятия составляет производство этилена, удельное энергопотребление на единицу произведенного этилена может быть более практичным показателем энергоэффективности, чем потребление энергии, отнесенное к объему всей продукции.

Энергоресурсы

- пар: типичная крекинг-установка использует несколько потоков пара с различными характеристиками (пар высокого давления – около 100 бар (м), пар среднего давления – около 20 бар (м), а также пар низкого давления – около 4 бар (м)). В зависимости от конфигурации, установка может получать из внешних источников пар с одними характеристиками и поставлять внешним потребителям пар с другими характеристиками;

- электроэнергия: большинство предприятий по крекингу являются нетто-потребителями электроэнергии, хотя предприятие, оснащенное когенерационной установкой, может выступать в качестве нетто-производителя. В отрасли принято использовать коэффициент 37,5% для пересчета электроэнергии в первичные формы энергии при сравнении энергоэффективности различных предприятий;

- горячая вода: на большинстве крекинг-установок образуются значительные количества горячей воды. Как правило, температура этой воды является недостаточной для использования на промышленных предприятиях, однако в некоторых случаях интеграция этого энергоресурса в другие технологические процессы или его поставка внешним потребителям оказывается возможной. Этот факт должен быть учтен при анализе энергоэффективности как поставка некоторого количества энергии потребителям за пределами установки. В конечном счете, это позволяет снизить потребление первичных энергоресурсов, которые использовались бы для удовлетворения соответствующих потребностей в отсутствие таких поставок. Это – пример ситуации, когда возможность для повышения энергоэффективности зависит от «внешних» обстоятельств (наличия или отсутствия применения для горячей воды за пределами установки), а не от «собственной» эффективности производства. Как следствие, показатели энергоэффективности двух установок с одинаковыми характеристиками технологических процессов могут различаться, если только одному предприятию из двух удастся найти внешнего потребителя для некоторых выходных потоков;

- топливо: при функционировании большинства крекинг-установок образуется как жидкое (пиролизный мазут), так и газообразное (смесь газов, богатая метаном) топливо. Большая часть газообразного топлива сжигается на самом производстве в печах крекинга. В зависимости от конфигурации и режима технологического процесса объем образующегося газообразного топлива может быть достаточным для обеспечения всех крекинговых печей (в этом случае излишки могут поставляться внешним потребителям), или могут быть необходимы внешние поставках топлива (как правило, природного газа). В энергетическом балансе учитывается только топливо, потребляемое самой установкой. Все топливо, поставляемое внешним потребителям, учитывается как продукция, а не как выходные потоки энергии (это логично, поскольку теплотворная способность этого топлива уже присутствует в сырье, получаемом крекинг-установкой);

- охлаждающая вода: все крекинг-установки используют воду для охлаждения. В некоторых случаях градирни являются частью установки. Однако охлаждающая вода должна учитываться в качестве потребляемого энергоресурса лишь в том случае, если она поставляется из-за пределов установки (например, с градирен, обслуживающих несколько производственных единиц). Следует отметить, на практике затраты энергии на

производство охлаждающей воды за пределами установки часто не учитываются при оценке общей энергоэффективности процесса;

- процесс крекинга использует и другие ресурсы, например, азот или сжатый воздух. Часто эти ресурсы производятся на предприятии централизованно (т.е. за пределами крекинг-установки) или приобретаются у внешнего поставщика. Затраты энергии на производство этих ресурсов часто упускаются из виду при оценке энергоэффективности установки.

7.3.2. Производство мономера винилацетата (MBA)

Некоторые виды энергетических и материальных потоков, предлагаемых для расчета коэффициента энергоемкости (КЭЕ), не обязательно применимы к любому технологическому процессу. Классификация потоков должна учитывать специфику конкретного процесса.

В качестве примера в данном разделе приведены входные и выходные потоки установки по производству мономера винилацетата (MBA). Некоторые из этих потоков легко поддаются оценке или измерению (на рис. 7.10 такие потоки отмечены значком ✓), тогда как количественная оценка других потоков может быть сопряжена с трудностями (такие потоки отмечены вопросительным знаком).

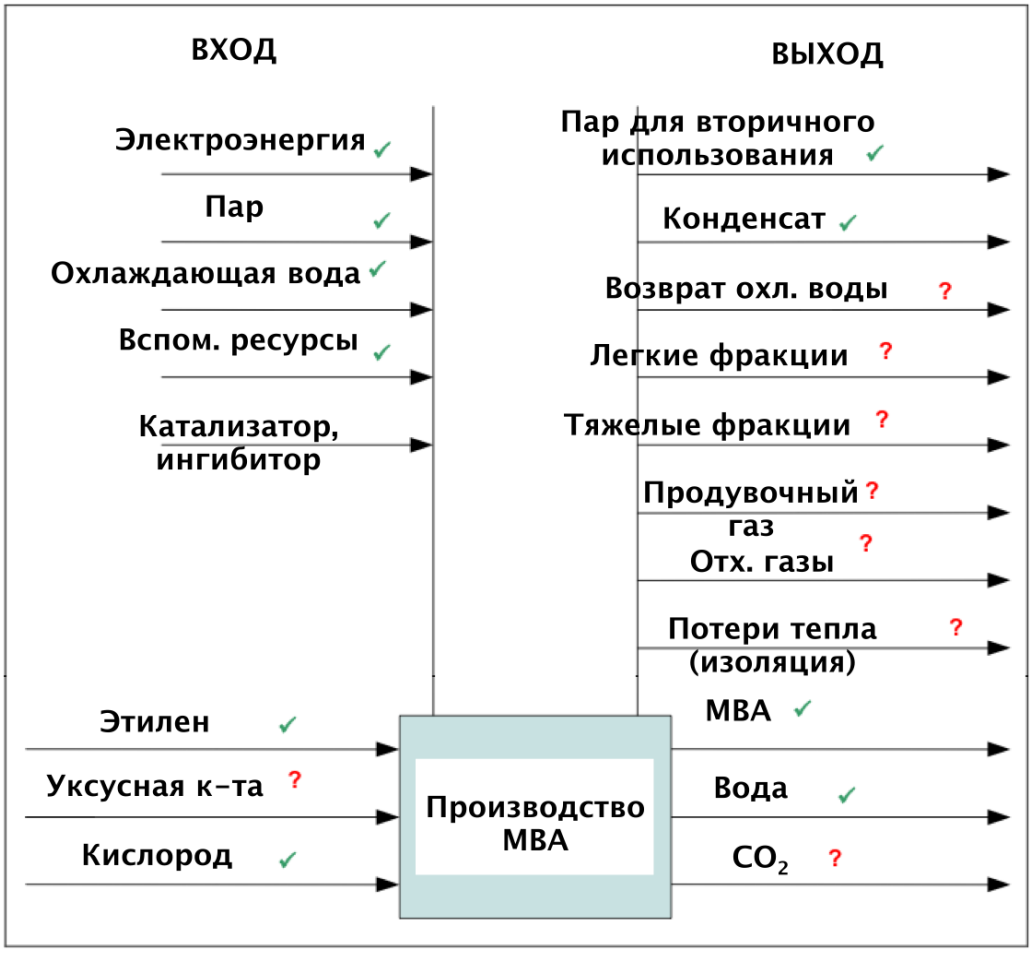


Рисунок 7.10: Входные и выходные потоки установки по производству мономера винилацетата

Потери тепла с возвратом охлаждающей воды, а также потери, связанные с недостаточной теплоизоляцией, никогда не должны учитываться в качестве выходных потоков энергии при расчете показателей энергоэффективности. Точно так же не должны учитываться отходящие газы и продувочный газ, если они сжигаются без утилизации тепла. Однако хотя бы приблизительная оценка величины этих потоков может быть полезной с точки зрения определения связанного с ними потенциала энергосбережения. В дальнейшем этот потенциал может быть соотнесен с затратами на осуществление соответствующих мероприятий, что позволит принять экономически обоснованное решение.

Более тщательного рассмотрения заслуживают вопросы учета других потоков, например тяжелых и легких фракций, а также отходящих и/или продувочного газа, если они используются в рамках других процессов. В предлагаемой модели такие потоки не рассматриваются в качестве выходных потоков энергии, поскольку предполагается, что их энергетическое содержание уже присутствовало в потоке поступающего сырья. Однако оператор может выбрать другой подход к учету этих потоков и затем последовательно придерживаться его.

7.3.3. Горячая прокатка стали

Исходным материалом для прокатки служат слябы – стальные пластины или плиты толщиной 2 дм и более, которые прокатываются в стальной лист толщиной несколько миллиметров. Оборудование прокатного производства включает нагревательные печи, собственно прокатный стан, системы охлаждения проката, а также разнообразное вспомогательное оборудование и службы, включая насосы, вентиляторы, гидравлические и смазочные системы, осветительные системы, ремонтно-механический цех, помещения персонала и т.д.

Схема материальных и энергетических потоков прокатного производства представлена на рис. 7.11.

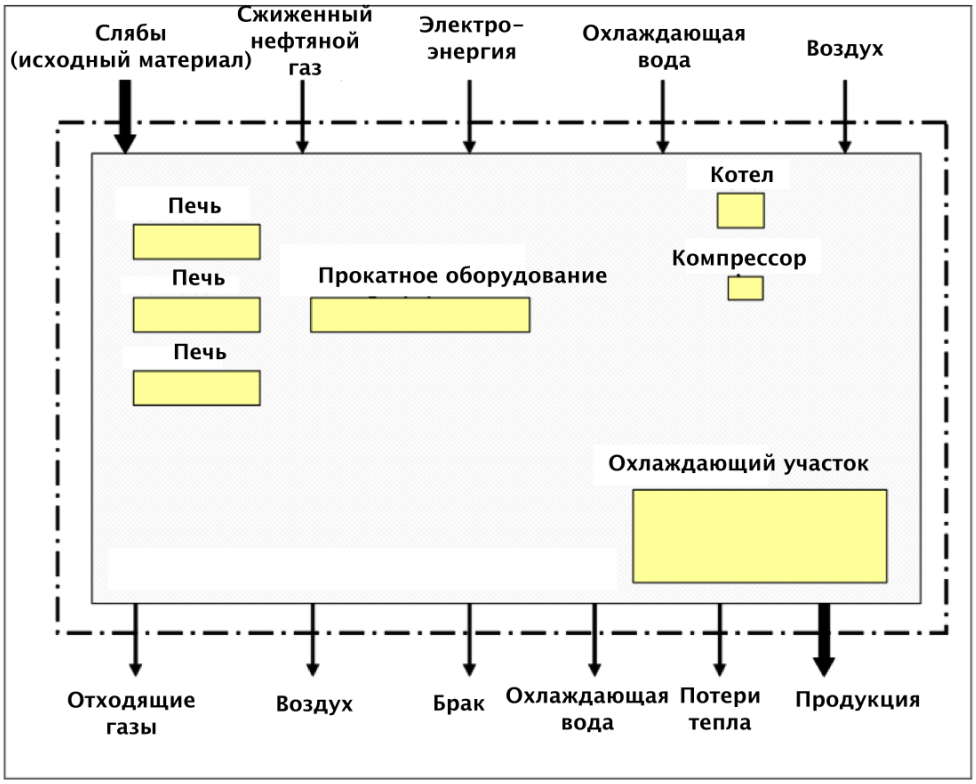


Рисунок 7.11: Материальные и энергетические потоки прокатного производства

Прокатное производство потребляет различные виды энергии из различных источников. Однако последующее обсуждение ограничено вопросами потребления электроэнергии. Согласно оценкам, количество компонентов и подсистем с электроприводом на прокатном производстве может превышать тысячу.

Потребление энергии может быть легко определено при наличии установленных приборов учета. В качестве меры объема производства для расчета удельных показателей может использоваться либо масса слябов, поступающих на прокатный стан, либо масса готовой продукции. Разница между этими величинами соответствует массе окалины, образующейся при прокатке.

В рамках одного из исследований был выполнен анализ данных реального прокатного производства, охватывающих период в 11 недель. Некоторые результаты этого анализа представлены на рис. 7.12. Согласно этим данным, энергопотребление варьирует в диапазоне между 80 и 120 кВт·ч на тонну готовой продукции, причем конкретная величина зависит от выпуска продукции за данную неделю. Среднее энергопотребление составило 100 кВт·ч/т,

вариация – ± 20 %. На протяжении исследуемого периода меры по энергосбережению не реализовывались.



Рисунок 7.12: Удельное энергопотребление прокатного производства в зависимости от объема выпускаемой продукции

Снижение удельного энергопотребления, сопровождающее увеличение объема производства, является естественным явлением и объясняется действием двух факторов:

- при более высоких объемах выпуска продукции загрузка производственных мощностей увеличивается, а время простоев сокращается. Некоторые виды производственного оборудования потребляют энергию даже во время простоев. При увеличении времени работы оборудования этот вид непроизводительного энергопотребления сокращается;
- энергопотребление любого предприятия имеет составляющую (базовый уровень), которая не зависит от использования производственных мощностей. Эта величина включает, в частности, энергопотребление систем освещения и вентиляции помещений, офисного оборудования и т.п. При более высоком объеме производства эта постоянная величина распределяется между большим количеством единиц продукции.

Таким образом, уменьшение удельного энергопотребления при увеличении объемов производства не связано с деятельностью компании в области энергоэффективности. В конечном счете, наблюдаемые изменения являются результатом колебаний рыночной конъюнктуры, определяющей уровень загрузки мощностей.

Позднее на том же предприятии было осуществлена программа по повышению энергоэффективности. Был реализован ряд мероприятий, направленных на снижение энергопотребления; результаты этих мероприятий представлены на рис. 7.13. При этом эффект мероприятий в значительной степени независим от объема производства за конкретную неделю. Как видно на рис. 7.13, результаты мероприятий по энергосбережению могут быть отделены от вклада других факторов, влияющих на энергопотребление, например, от степени загрузки мощностей.

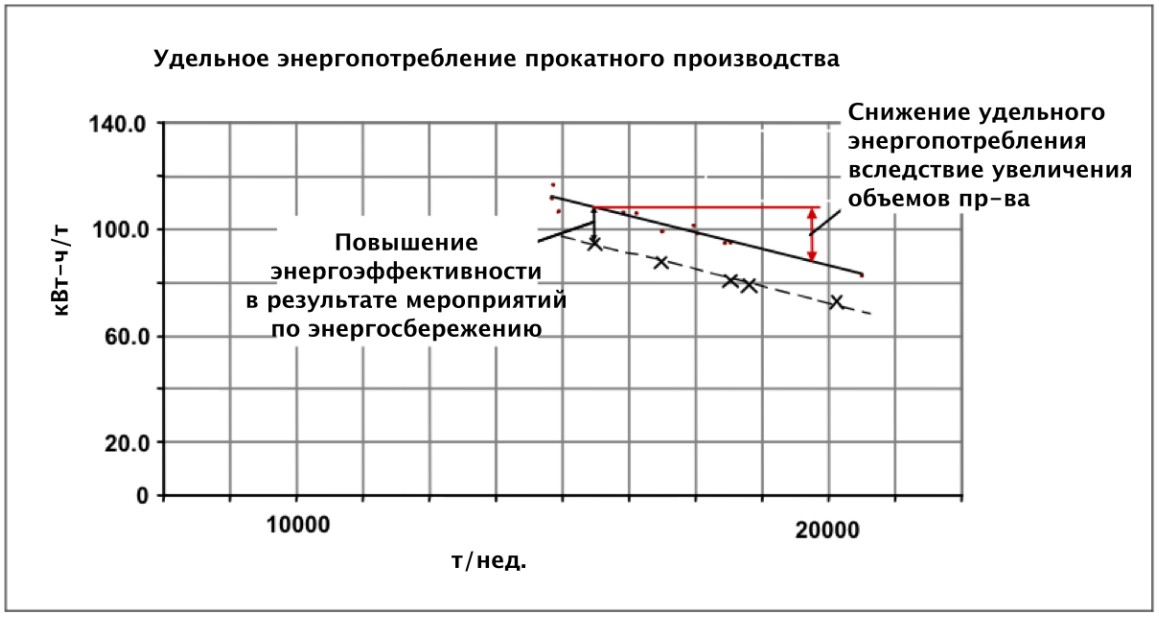


Рисунок 7.13: Факторы изменения удельного энергопотребления прокатного производства

Из приведенных рассуждений также ясно, что при сравнении помесячных или годовых данных по удельному энергопотреблению интерпретация наблюдаемых различий может быть сопряжена с трудностями. Удельное энергопотребление может повыситься от одного периода к другому несмотря на принятые меры по энергосбережению, если эффект этих мер окажется недостаточным для того, чтобы скомпенсировать действие других факторов. Одним из таких факторов может быть значительное снижение загрузки производственных мощностей.

7.4. Примеры внедрения систем менеджмента энергоэффективности

Пример 1: Aughinish Alumina (AAL), Ирландия [161, SEI, 2006]

Aughinish Alumina (AAL) представляет собой крупнейший в ЕС глиноземный завод, ежегодно производящий более 1,6 млн. т глинозема из бокситовых руд. Полученный глинозем поставляется на другие предприятия в качестве сырья для производства алюминия. На заводе, расположенном на ирландском о. Огиниш, занято 400 чел; предприятие является одним из крупнейших потребителей энергии в Ирландии. Производство глинозема – энергоемкий процесс; на приобретение энергии приходится около 30% общих производственных затрат.

Компания откликнулась на предложение организации SEI («Устойчивая энергия для Ирландии») о внедрении СМЭЭ. В качестве основы для внедрения системы менеджмента был выбран датский стандарт DS 2403 (позднее на его основе был разработан ирландский стандарт IS 393). Компания предпочла внедрять систему менеджмента на основе стандарта, чтобы обеспечить систематический и структурированный подход к повышению энергоэффективности и снижению затрат, связанных с энергопотреблением. Стандарт DS 2403 во многом сходен с международным стандартом ISO 14001, что оказалось большим преимуществом для компании, уже внедрившей систему экологического менеджмента на основе последнего. При внедрении системы менеджмента энергоэффективности предприятие могло опираться на существующие процедуры СЭМ и использовать связанный с ней опыт.

На начальном этапе внедрения системы датские консультанты провели предварительную оценку и аудит, а также анализ соответствия существующей практики требованиям стандарта (gap analysis). Для разработки необходимых систем на предприятии был назначен специальный менеджер по энергоэффективности, освобожденный от других обязанностей. Поскольку к моменту внедрения системы предприятие уже располагало развитой сетью измерительных устройств и приборов учета, основное внимание было уделено более эффективному использованию существующих данных, а также формированию процедур оценки и отчетности для выявления проблем и возможностей для повышения энергоэффективности.

Все представители инженерного и ремонтно-технического персонала, а также сотрудники служб материально-технического снабжения, деятельность которых непосредственно затрагивалась вновь введенными требованиями СМЭЭ, прослушали однодневный учебный курс по системе. Оставшаяся часть 400 сотрудников прослушала часовую презентацию общего характера, направленную на «повышение осведомленности в области энергоэфекитвности».

Примеры выявленных и реализованных возможностей для улучшения:

- *Улучшение утилизации тепла*

На предприятии используется ряд подогревателей (кожухотрубных теплообменников) для подогрева питательной воды котлов до 120°C при помощи пара перед поступлением в деаэратор. Производительность теплообменника постепенно снизилась в результате образования окалины в паропроводах. Это привело к несоответствию спецификациям, в результате чего была реализована целевая программа по определению оптимальных способов решения проблемы. Термографический анализ и измерения давления позволили выявить участки трубопровода, в которых могло иметь место значительное падение давления. Эта информация в сочетании с детальными расчетами допустимых величин падения давления позволила наметить конкретные мероприятия, которые были реализованы во время ежегодного останова производства. Значительное повышение энергоэффективности в результате осуществления предложенных мероприятий подтвердило правильность проведенного анализа. Тот же подход был успешно применен на другом участке, и предприятие ожидало дальнейших улучшений в результате его распространения на следующие участки в 2006 г.

- *Повышение температуры входного потока*

Для регулирования процесса выщелачивания глинозема в автоклав должно подаваться известковое молоко. Температура последнего должна быть как можно выше; в противном случае для обеспечения необходимой температуры в автоклаве потребуется больше пара от котлов. Проблемы, возникшие на производстве в начале 2005 г., привели к снижению температуры известкового молока и нарушению спецификаций технологического процесса. В результате обследования был предложен простой малозатратный способ решения проблемы; это вряд ли было бы сделано в отсутствие СМЭЭ. Хотя достигнутое энергосбережение было незначительным на фоне общего энергопотребления предприятия, осуществленные мероприятия обеспечили реальную экономию и, кроме того, позволили улучшить функционирование гасильного аппарата.

Пример 2: Outokumpu, Tornio works, Финляндия [160, Aguado, 2007]

Tornio works представляет собой крупнейший в мире комбинат по производству нержавеющей стали, принадлежащий транснациональной компании Outokumpu. Мощность предприятия, на котором занято 2300 чел., составляет 1,65 млн. т/год. Предприятие внедряет систему менеджмента энергоэффективности в рамках существующей системы экологического менеджмента, отвечающей требованиям стандарта ISO 14001. В частности, предполагалось, что до 1 декабря 2007 г. будет введена практика отчетности об энергопотреблении. В 2006 г. предприятие было включено в Индекс устойчивости Доу – Джонса, отражающий динамику курсов акций социально ответственных компаний.

Системы менеджмента энергоэффективности других предприятий Outokumpu, находящихся в Авесте, Дегерфорсе и Нюбю, прошли сертификацию на соответствие стандарту SS 627750 в 2006 г. Предприятие в Авесте поставило перед собой цель снизить к декабрю 2007 г. удельное потребление электроэнергии на 3%, с 980 до 950 кВт·ч на тонну продукции, а удельное потребление топлива (сжиженного нефтяного газа) – на 2%, с 608 до 596 кВт·ч на тонну. Предприятие в Дегерфорсе поставило перед собой цель добиться снижения затрат тепла на отопление участка отгрузки на 40 % по сравнению с 2005 г. Предприятие в Шеффилде (плавильное производство) внедряет систему менеджмента энергоэффективности и намерено сократить непроизводственные затраты энергии на 10% по сравнению с 2006 г. (также к декабрю 2007 г.).

Пример 3: Dow Chemical Company [163, Dow, 2005]

Dow Chemical Company представляет собой международную компанию, производящую более 3200 видов продукции, с годовым объемом продаж 29,4 млрд. евро (1 долл. США = 0,73416 евро, курс на 1 января 2005 г.). На 208 производственных предприятиях компании в 38 странах занято 43 тыс. чел. Общая мощность, потребляемая этими предприятиями, составляет 3500 МВт, из которых 54% производится внутри компании, причем 74% этого количества производится в рамках схем когенерации.

При внедрении менеджмента энергоэффективности Dow использует уже имеющиеся на предприятиях системы менеджмента, процессы и процедуры, а также инструменты постоянного улучшения.

Цели, поставленные Международным правлением компании на 1995 – 2005 г., включали ежегодное повышение энергоэффективности на 2% (всего на 20% к 2005 г. по сравнению с 1994 г.). Цели на следующее десятилетие были определены в 2005 г.

Основной принцип стратегии компании в области энергоэффективности состоит в следующем: для обеспечения долгосрочной устойчивости предприятия компании интегрируют цели и планы в области энергоэффективности и энергосбережения в свои процессы стратегического планирования и реализации проектов.

Система менеджмента энергоэффективности компании Dow включает все элементы, перечисленные в разделе 2.1, включая четко определенную структуру, обмен информацией, управление данными, выявление возможностей и планомерную реализацию мероприятий. Соображения энергоэффективности учитываются при разработке «наиболее эффективных технологий», а также при оценке возможностей для долгосрочных инвестиций. Для продвижения и развития деятельности в области энергоэффективности используются также подходы маркетинга, мозговые штурмы и обмен опытом между подразделениями. В компании имеется должность «глобального лидера по энергоэффективности», ответственного за соответствующую деятельность на всех предприятиях компании. На каждом предприятии имеется собственный лидер или центр по энергоэффективности, координирующий соответствующую деятельность в различных подразделениях предприятия. В крупных региональных центрах компании действуют группы по энергоэффективности.

Для вовлечения персонала в деятельность по повышению энергоэффективности используются такие подходы, как публикация успешного опыта, внедрение инструментов энергоэффективности, которые может использовать каждый сотрудник, развитие связей между предприятиями, конкурсы по энергосбережению и другие методы.

Организационная структура менеджмента энергоэффективности является интегрированной. В состав групп по энергоэффективности входят представители высшего руководства различных предприятий и подразделений, а также различных бизнес-направлений. Это обеспечивает реальный вклад деятельности отдельных предприятий в энергосбережение на уровне компании в целом, позволяет максимально использовать потенциал интеграции использования энергоресурсов на различных предприятиях, способствует обмену идеями и опытом, а также выявлению возможностей и планированию деятельности на различных уровнях.

Важнейшим фактором является использование существующих процессов и инструментов постоянного улучшения для развития деятельности в следующих направлениях:

- инженерная деятельность и наиболее эффективные технологии (энергоэффективные технологические решения);
- улучшения качества деятельности эксплуатационного и ремонтно-технического персонала, а также групп по энергоэффективности;
- использование в качестве топлива некоторых видов побочной продукции, расширение использования альтернативных источников энергии и улучшение практики отчетности по энергоемкости производства (формально использование побочных продуктов в качестве топлива может привести к снижению показателей эффективности использования топлива, однако его результатом может быть снижение выбросов CO_2 от сжигания традиционных

видов топлива, поэтому оно не должно рассматриваться как ухудшающее энергоэффективность производства);

- внедрение системы «шесть сигм»: это основанная на использовании фактических данных методология, направленная на «сокращение объема переделок» и «закрепление достигнутых результатов», центральное место в которой занимает постоянный цикл «измерение – анализ – улучшение – контроль». Эта методология использует, среди прочих подходов, анализ требований потребителей, методы статистического анализа и инструменты ранжирования возможностей для улучшения. Важными элементами практической реализации улучшений являются управление изменениями, обязательства высшего руководства и обмен информацией.

Результаты

Компания Dow добилась намеченного сокращения на 20% удельных затрат энергии на единицу продукции (в химической и нефтехимической отрасли эта величина называется «энергоемкостью продукции») – с 13849 кДж/кг до 11079 кДж/кг (на килограмм всего ассортимента продукции).

Примеры конкретных улучшений

Dow Central Germany (пять предприятий в Германии):

- оптимизация баланса пара и топливного газа на предприятии в Бёлене позволила существенно сократить выбросы CO_2 и повысить энергоэффективность предприятия;
- проект по улучшению использования образующегося водорода, совместно реализованный двумя предприятиями, расположенными на расстоянии 40 км друг от друга, позволил сократить выбросы и сжигание в факелах этого газа, максимально расширив его химическое и топливное применение, что позволило практически полностью устранить потери водорода и сократить выбросы CO_2.

Предприятие во Фрипорте, Техас, США:

- начало программы по снижению энергопотребления систем с электроприводом на всем предприятии. Был разработан инструмент, позволяющий эксплуатационному персоналу оценивать потенциал энергосбережения, который может быть реализован за счет усовершенствования эксплуатационных процедур или мер инженерно-технического характера.

Предприятие в Тернёзене, Нидерланды:

- оптимизация потоков пара между энергетическими объектами и установкой крекинга олефинов позволила сократить потери пара и организовать боле эффективное понижение давления (при помощи турбодетандеров).

7.5. Примеры энергоэффективных технологических процессов

Пример 1: Биокаталитическое производство акриламида (Mitsubishi Rayon, Япония)

[164, OECD, 2001]

Традиционно акриламид получали методом гидролиза акрилонитрила посредством добавления стехиометрического количества серной кислоты в присутствии ингибитора, предотвращавшего полимеризацию как исходного материала, так и продукции. В 1970-х гг. был разработан гетерогенный медный катализатор, позволивший исключить из процесса серную кислоту. Этот метод, обладавший многими достоинствами, получил широкое применение.

Однако по мере развития технологий полимеризации и применения полимеров возникла потребность в получении мономера акриламида более высокой чистоты. При этом полученный каталитическим методом акриламид, ранее считавшийся чистым веществом, все же содержал незначительные количества примесей, влиявших на процесс полимеризации. Поэтому Совет по медицинским исследованиям (MRC) начал разработку биокаталитического процесса получения

акриламида с использованием микроорганизмов, позволявшего производить более чистое вещество.

После получения штамма первого поколения потребовалось около полутора лет на разработку технологического процесса и обеспечение его качества. Для штаммов второго и третьего поколения решение этих задач потребовало около шести месяцев лабораторных испытаний. В целом, получение необходимого генетически модифицированного организма (ГМО) и разработка соответствующих технологий потребовали около семи лет. Мировое производство акриламида различными методами представлено в табл. 7.3.

	Мощности по производству акриламида, 10^5 т/год			
Технология	Япония	Азия (кроме Японии)	США	Европа
Катализ	0,9	0,75	1,35	1,15
Биокатализ (1998)	0,2	0,2	0,1	0,35
Биокатализ (2001, оценка)	н/д	0,5	н/д	0,45

Таблица 7.3: Мировые мощности по производству акриламида, 10^5 т/год

[164, OECD, 2001]

Первый вариант технологии биокатализа требовал специальных этапов обесцвечивания и концентрирования, однако современный вариант процесса не требует этих шагов. Характеристики традиционного процесса катализа и биокатализа представлены в табл. 7.4

Технология	**Катализ (1971)**	**Биокатализ (1985)**
Температура реакции	343K	273 – 288K
Выход продукта за один проход	70 – 80 %	~ 100 %
Концентрация акриламида	~ 30 %	48 – 50 %
Концентрирование	Требуется	Не требуется
Очистка	Удаление катализатора	Удаление белков

Таблица 7.4: Сравнение технологий производства акриламида

[164, OECD, 2001]

Были выполнены сравнительные исследования воздействия на окружающую среду, связанного с традиционным каталитическим процессом и различными вариантами биокатализа. Общий вывод состоит в том, что биокаталитический процесс отличается меньшим уровнем воздействия, в т.ч. в части энергопотребления и связанных с ним выбросов парниковых газов. Соответствующие данные приведены в табл. 7.5 и 7.6.

	Катализ	**Биокатализ (старая технология)**	**Биокатализ (новая технология)**
Пар	1,6	2,8	0,3
Электроэнергия	0,3	0,5	0,1
Подготовка сырья	3,1	3,1	3,1

Таблица 7.5: Энергопотребление при производстве акриламида, МДж/кг

[164, OECD, 2001]

	Катализ	**Биокатализ (старая технология)**	**Биокатализ (новая технология)**
Пар	1,25	2,0	0,2
Электроэнергия	0,25	0,25	0,1
Подготовка сырья	2,3	2,3	2,3

Таблица 7.6: Выбросы CO_2 при производстве энергии, потребляемой при производстве акриламида, кг CO_2 на кг акриламида

[164, OECD, 2001]

Пример 2: Использование красок и печатных систем с электронно-лучевым отверждением вместо традиционной печати с использованием растворителей

В качестве примера рассматривается печатная машина с шириной печати 1,37 м. Типичное задание представляет собой печать с долей покрытия 35–40% на легком картоне толщиной 0,3 мм. Расчеты основаны на предположении о том, что предприятие работает в три смены, и машина эксплуатируется 75% рабочего времени (примерно 4680 ч/год).

Традиционные чернила и система сушки:

Краски и покрытия, основанные на растворителях, содержат 60–65% сухого вещества. Для сушки после печати используется воздух, нагреваемый до температуры около 150°C за счет сжигания природного газа. В расчетах также учтены затраты электроэнергии на подачу воздуха (насосы, вентиляторы).

Часто после сушки материал нуждается в охлаждении при помощи охлаждающих валиков. Отходящие газы сушки (загрязненные растворителем), как правило, подвергаются очистке. Затраты энергии на эти две операции не были включены в расчеты.

Система электронно-лучевого (ЭЛ) отверждения:

ЭЛ-отверждаемые краски являются полностью сухими. Под действием потока электронов высокой энергии происходит процесс полимеризации (отверждения) красок. Этот процесс сопровождается минимальным тепловыделением (температура картона повышается на 8–12°C), так что необходимость в охлаждении отсутствует. Кроме того, отсутствует необходимость в очистке отходящих газов, загрязненных парами растворителей. Однако ЭЛ-отверждение требует нейтральной азотной атмосферы. Поскольку точные данные об удельных затратах энергии на производство азота не были доступны, в расчеты была включена приблизительная оценка, основанная на потреблении электроэнергии при производстве азота. Оценка объемов энергосбережения за счет использования ЭЛ-отверждения приведена в табл. 7.7.

ГДж/год	**Растворители**	**ЭЛ**
Природный газ	$4{,}67 \cdot 10^4$	–
Электроэнергия	384	$5{,}31 \cdot 10^3$
	$4{,}7 \cdot 10^4$	$5{,}31 \cdot 10^3$
Энергосбережение		41690 ГДж/год
		89 %
Экономический эффект		649162 (долл. США, 2006 г.)

Таблица 7.7: Энергосбережение за счет использования печатной системы с ЭЛ-отверждением

[175, Saunders_R., 2006]

Пример 3. Утилизация тепла при выращивании бройлеров (интенсивное птицеводство)

Традиционная система отопления птицефабрик подразумевает нагрев воздуха. В системе «Комбидек» используется отопление с теплым полом. В состав системы входит тепловой насос, подземная емкость или система труб, служащая аккумулятором тепла, а также трубы, проложенные под полом. До 21-го дня жизни цыплятам требуется дополнительное отопление (температура около 28 °C), которое обеспечивается при помощи горячей воды, циркулирующей под полом. После короткого периода равновесия птицы начинают выделять избыточное тепло, которое отводится водой, циркулирующей по тем же трубам, и сохраняется в подземных резервуарах. Эта система оказывает положительное влияние на рост бройлеров, а также их состояние (снижение теплового стресса, уровня смертности, потребности в ветеринарных услугах).

Инвестиционные затраты составляют 2 евро на бройлера при плотности посадки 20 голов на $м^2$ пола. Эксплуатационные затраты (включая амортизацию и выплату процентов) составляют 0,2 евро на место в год. Согласно сообщениям, годовой экономический эффект за счет снижения затрат и увеличения производительности превышает соответствующие эксплуатационные затраты примерно втрое. В частности, затраты на ветеринарное обслуживание снизились примерно на 30%, затраты на энергию – примерно на 52 %. Срок окупаемости инвестиций составляет примерно 4 – 6 лет. [173, EIPPCB, 2003]

7.6. Пример подхода к поступательному развитию инициатив в сфере энергоэффективности: «совершенство в производственной деятельности»

Пример 1: Shell Nederland Chemie, Мёрдик, Нидерланды (производство этилена, мощность 900 тыс. т/год)

Стремясь снизить затраты на энергию и выбросы диоксида углерода, компания совместно с Shell Global Solutions реализовала проект в рамках программы «Energise».

Сотрудники предприятия постоянно стремились изыскать возможности для энергосбережения, однако их текущие обязанности, связанные с необходимостью обеспечивать бесперебойное функционирование производства и качество продукции, оставляли для этого лишь ограниченное время. Высказывались сомнения относительно возможности существенного энергосбережения, поскольку производство низших олефинов и так является достаточно оптимизированным с этой точки зрения. Однако консультанты программы Energise приступили к работе, совместно с сотрудниками предприятия изучая возможности для сокращения энергопотребления.

Первоначально группа выявила 150 возможностей для повышения энергоэффективности, из которых 23 были отобраны для дальнейшей разработки в качестве проектов и практической реализации. Работы осуществлялись как в период планового останова оборудования, так и во время функционирования последнего. Около 59% общего объема энергосбережения было достигнуто за счет мероприятий в области автоматизированного управления технологическими процессами, включая создание и настройку новых контуров управления, а также оптимизацию заданных параметров технологического процесса. Остальное энергосбережение было достигнуто за счет оптимизации процедур (23%), а также улучшения технического обслуживания основного производственного и контрольно-измерительного оборудования (18%). Основные результаты были достигнуты в следующих областях:

- оптимизация давления во всех компрессорных системах, а также установка дополнительных контрольно-измерительных приборов, обеспечивших оптимальные условия эксплуатации компрессоров. Эти мероприятия обеспечили значительное энергосбережение. Так, модификация соответствующей системы управления позволила снизить энергопотребление компрессоров системы охлаждения пропилена примерно на 10%;
- оптимизация технологических процессов на всем производстве позволила сгладить колебания их производительности, что, в свою очередь, позволило снять некоторые ограничения на производительность предприятия в целом, возникавшие при определенных условиях. В частности, была значительно смягчена проблема «узких мест» в производственном процессе, возникавших в летний период;
- во многих случаях энергосбережение явилось результатом лучшего понимания парового баланса предприятия, тонкой настройки оборудования, а также инвестиций в контрольно-измерительные приборы с целью более качественного мониторинга технологических процессов.

Приоритетами программы были «совершенство в производственной деятельности» (operational excellence), а также внедрение передовых практических подходов и стратегий управления технологическими процессами, а не инвестиции в новое оборудование. Капитальные инвестиции в рамках ряда малых проектов составили всего около 100 тыс. долл. США (в 2006 г., что примерно эквивалентно 75 тыс евро). Эти средства были потрачены на проектирование, закупку и установку дополнительного электронного контрольно-измерительного оборудования.

Объемы достигнутого энергосбережения в денежном выражении составляют 5 млн. долл./год (около 3,6 млн. евро/год), или 3,5 % общих затрат на приобретение энергии.

Пример 2: Компания Dow Corning, несколько предприятий

Принципы «совершенства в производственной деятельности» были реализованы на всех предприятиях компании. Основными направлениями деятельности были усовершенствование процедур и повышение производственной дисциплины. Работа предприятий стала более

надежной и предсказуемой, что привело к значительному повышению качества продукции и степени загрузки мощностей. Это позволило выявить и с минимальными капитальными затратами реализовать скрытый потенциал повышения производительности в размере 15–20% на всех предприятиях.

7.7. Мониторинг и измерения

7.7.1. Количественные измерения

Два производственных подразделения одной компании, находящиеся на общей производственной площадке, совместно использовали единственный прибор учета электроэнергии. При этом затраты распределялись между подразделениями в пропорции 60/40. Подразделение, на которое приходилось 60% платы, отличалось необычно высокими удельными затратами на энергию; в качестве способа изменения ситуации рассматривалась даже возможность перевода производства на другую площадку. В конечном счете, на площадке была установлена современная система учета энергопотребления со многими измерительными приборами и автоматическим считыванием показаний (см. раздел 2.15.2). Данные учета показали, что на подразделение, платившее 60%, фактически приходилось около 40% энергопотребления промышленного комплекса. Кроме того, детальный учет позволил выявить пик энергопотребления (175 кВт), возникавший раз в неделю в связи с термической обработкой продукции. Этот пик был сдвинут на время суток с меньшим тарифом (см. раздел 7.11). Общий экономический эффект составил 324 тыс. долл. (240 тыс. евро) в год [183, Bovankovich, 2007] [227, TWG].

7.7.2. Оптимизация использования энергоресурсов

Пример 1: Schott AG, Германия

Компания, производящая различные виды стекольной продукции, имеет несколько производств в Германии и за ее пределами.

Традиционно затраты на приобретение энергии распределялись между подразделениями компании в соответствии с установленной пропорцией, а не на основе фактического потребления. Это не обеспечивало достаточных стимулов для снижения энергопотребления менеджерами, поскольку платежи их подразделений за энергию слабо зависели от деятельности по энергосбережению. Чтобы изменить сложившуюся ситуацию, компания внедрила автоматизированную систему мониторинга энергопотребления, оснащенную электронными приборами учета и включающую программные модели. В состав системы входят следующие измерительные устройства для различных энергоресурсов:

- электроэнергия: 940 приборов учета;
- вода: 203 прибора учета;
- газ: 49 приборов учета;
- сжатый воздух: 43 прибора учета;
- мазут: 8 приборов учета;
- N_2, O_2, NH_3: 7 приборов учета.

Экологические преимущества:

- усиление мотивации для энергосбережения за счет лучшей информированности о затратах;
- оптимизация энергопотребления.

Производственные преимущества:

- ускорение устранения дефектов, ведущее к сокращению потерь энергоресурсов;
- сглаживание графика энергопотребления;
- прозрачность энергетических потоков.

Экономические аспекты:

- программное обеспечение: около 50 тыс. евро;

- оборудование: около 500 евро на измерительное устройство;
- результаты:
    - снижение пикового потребления электроэнергии: 3–5%;
    - период окупаемости: от 0,9 до 2 лет (в зависимости от конкретного проекта).

Schott glass: [127, TWG]

Пример 2: Больница «Атриум», Хеерлен, Нидерланды

В конце 1990-х гг. в составе комплекса больницы была построена тригенерационная установка для обеспечения круглосуточного производства пара, электроэнергии и холода со стопроцентной надежностью. В состав установки входит водогрейный котел, два паровых котла, электрогенерирующие агрегаты, абсорбционный чиллер, теплообменники, две когенерационные установки на основе ДВС и два резервных генератора. Сложная структура производства и потребления энергоресурсов, а также расценок на топливные ресурсы затрудняли достижение оптимального режима эксплуатации системы. Было проведено специальное обследование, по результатам которого была, в частности, установлена система утилизации тепла дымовых газов, которая обеспечила сбережение от 520 до 713 МВт-ч в год, или 5% от общего энергопотребления системы. Была установлена система управления энергоресурсами. Внутренний показатель рентабельности инвестиций составил 49% (экономический эффект 75–95 тыс. евро/год при общих переменных затратах на энергию около 1,2 млн. евро) [179, Stijns, 2005].

7.7.3. Энергетические модели, базы данных и балансы

Пример 1: Модели потребления электроэнергии

Простая модель потребления электроэнергии в табличной форме представлена в табл. 7.8.

		A	B	C	D	E	F	G
Подразделение	**Устройство**	**n.**	**Ном. мощность, кВт**	**Ном. КПД**	**Время работы, ч/год**	**Коэфф. загрузки**	**Энерго-потребление, кВт -ч**	**%**
Подразделение 1	Устройство 1	10	55	0,92	500	1	298913	
	Устройство 2	20	4	0,85	4000	0,8	301176	
	Устройство 3	15	10	0,9	4000	0,9	600000	
Всего подр. 1			780				1200089	17.5
Подразделение 2	Устройство 1	1	500	0,85	3500	0,5	1029411	
	Устройство 2	20	15	0,9	4000	1	1333333	
	Устройство 3	5	7,5	0,8	4500	0,9	189844	
	Устройство 4	10	2	0,75	1500	0,8	32000	
	Устройство 5	3	150	0,92	3000	0,95	1394022	
Всего подр. 2			1307				3978611	58,1
Подразделение №	Устр. №		…	…	…	…	…	…
ВСЕГО			3250				5425000	100,0

Таблица 7.8: Простая модель потребления электроэнергии

Величина в столбце A представляет собой количество идентичных устройств в подразделении.

«Энергопотребление» в столбце F рассчитывается как произведение числа устройств на номинальную мощность, количество часов работы в год и коэффициент загрузки, деленное на номинальный КПД:

$$F = \frac{A \cdot B \cdot D \cdot E}{C} \qquad \textbf{Уравнение 7.24}$$

Общее энергопотребление предприятия рассчитывается как сумма энергопотребления всех устройств во всех подразделениях.

Если рассматриваемое производство не отличается сложностью или большим количеством устройств, этой простой модели может быть достаточно для выявления областей, в которых может существовать значимый потенциал энергосбережения. Достаточно обратить внимание на общее энергопотребление каждого подразделения, приводимое в столбце G. Весьма вероятно, что потенциал энергосбережения особенно значителен именно в подразделениях с наибольшим энергопотреблением, и именно на эти подразделения должны быть направлены приоритетные

усилия. Подразделениям с невысоким уровнем энергопотребления внимание может быть уделено позже.

Там, где этого требуют условия (например, в случае сложного производства, или если данные об электрическом оборудовании никогда не собирались ранее), целесообразно собрать дополнительные данные, которые также могут быть полезны при определении мер по энергосбережению, например:

- для двигателей и приводов:
  - тип устройств, приводимых в действие двигателем (компрессоры, вентиляторы, насосы и т.д.);
  - идентификационный номер;
  - производитель и модель;
  - тип двигателя;
  - год установки или время до окончания срока службы;
  - количество перемоток, осуществленных до настоящего времени;
  - метод управления скоростью (если имеется);
  - тип механической передачи;
  - возможность сдвига потребления на другое время (для использования оптимальных тарифов на электроэнергию);
- для осветительных устройств:
  - тип светильника;
  - количество светильников;
  - количество ламп в светильнике;
  - тип ламп;
  - номинальная мощность ламп;
  - КПД ламп;
  - тип балласта (железный, медный, высокочастотный).

Пример 2. Модели производства и потребления тепловой энергии

Хотя и в случае тепловой энергии полезным является сбор детальной информации по всем устройствам, в составе модели первого уровня (модель «стороны производства») достаточно учесть лишь основные характеристики устройств, производящих тепловую энергию (см. табл. 7.9):

		A	B	C	D	E	F	G
Процесс	**Устройство**	**n.**	**Ном. мощность, кВт$_т$**	**Ном. КПД**	**Время работы, ч/год**	**Коэфф. загрузки**	**Энерго-потребление, Нм^3 ПГ**	**%**
Этап 1 (напр. сжигание)	Крупные печи	4	800	0,85	7700	0,8	2417000	
	Малые печи	5	600	0,85	7700	0,8	2266000	
Всего этап 1			6200				4683000	76,5
Этап 2 (напр. пр-во тепла)	Водогрейный котел	2	2500	0,92	1000	0,5	283200	
	Паровой котел	2	1000	0,92	7000	0,5	793200	
	Водогрейный котел	2	1000	0,92	1600	0,5	181200	
Всего этап 2			9000				1257600	20,5
Этап 3 (тех. службы, вспом. устройства)	Распылительная сушилка	1	400	0,7	200	1	11900	
	Генератор горячего воздуха	1	400	0,85	1600	0,5	39200	
	Небольшие обогреватели	37	30	0,8	1600	0,5	115700	
	Крупные обогреватели	2	60	0,8	1600	0,5	12500	3,0
Всего этап 3			2030				179300	
ВСЕГО			3250				6119900	100,0

Таблица 7.9: Модель использования тепловой энергии первого уровня («сторона производства»)

В данном случае для облегчения расчетов вся потребляемая энергия была выражена в $Нм^3$ природного газа. Соответствующие объемы газа были рассчитаны по формуле:

$$F = \frac{A \cdot B \cdot D \cdot E \cdot 3600}{C \cdot 34500}$$

где:

3600 – коэффициент пересчета из кВт·ч в кДж;

34500 – низшая теплотворная способность природного газа ($кДж/Нм^3$).

Сформировав модель первого уровня, необходимо проверить ее, убедившись в том, что сумма энергопотребления всех устройств и систем соответствует количеству топлива, указываемому в счетах от поставщика. Если результат проверки оказался положительным, модель может использоваться для определения приоритетных областей для повышения энергоэффективности.

Для оценки эффективности использования тепловой энергии необходимо составление моделей второго уровня («сторона потребления»). При этом необходимо учесть все устройства и системы, потребляющие тепловую энергию в любых формах (горячая вода, пар, горячий воздух и т.д.), но не топливо (потребители которого были учтены при составлении модели первого уровня).

Для каждого устройства необходимо собрать следующие данные:

- тип используемого теплоносителя;
- время работы (ч/год);
- коэффициент загрузки (средняя доля потребляемой номинальной мощности при работе);
- номинальная тепловая мощность.

Собранные данные могут быть организованы в виде таблицы (см. табл. 7.10).

		A	B	C	D	E	F	G
Подразделение	**Устройство**	**n.**	**Тепло-носитель**	**Тепл. мощность, $кВт_т$**	**Время работы, ч/год**	**Коэфф. загрузки**	**Энерго-потребление, Нм3 ПГ**	**%**
Подразделение 1	Устройство 1	2	Пар	500	1000	1	104200	
	Устройство 2	1	Пар	125	500	0,8	5200	
	Устройство 3	5	Г/вода	75	5000	0,8	156400	
Всего подр. 1							265800	21,8
Подразделение 2	Устройство 1	1	Пар	75	2500	0,5	9800	
	Устройство 2	20	Г/воздух	10	3000	1	62500	
	Устройство 3	5	Пар	50	2500	0,8	52100	
	Устройство 4	10	Г/вода	5	1500	0,8	6300	
	Устройство 5	3	Пар	25	3000	0,9	21100	
Всего подр. 2							151800	12,5
Подразделение	Устройство							
ВСЕГО							1215700	100,0

Таблица 7.10: Модель использования тепловой энергии второго уровня («сторона потребления»)

Модель второго уровня (модель «стороны потребления») используется для проверки соответствия количества тепла, производимого на предприятии (котлы, теплогенераторы и т.п.), объему потребления пользователей. В данном случае величины в столбце F рассчитываются следующим образом:

$$F = \frac{A \cdot C \cdot D \cdot E \cdot 3600}{34500}$$

По данным табл. 7.9, производство тепла для нужд потребителей составляет:

1257600 + 179300 = 1436900 Нм^3 природного газа.

По данным модели второго уровня (см. табл. 7.10), общее потребление тепла конечными пользователями эквивалентно величине 1215700 Нм^3 природного газа. Разница в 15 % обусловлена потерями при производстве и распределении тепла, а также КПД его конечного использования.

Если величина разницы представляется реалистичной, можно считать, что две модели согласуются друг с другом. В противном случае необходима корректировка моделей (чаще всего, за счет уточнения времени работы или коэффициента загрузки).

Если, несмотря на использование достаточно точных данных, разница между величинами остается достаточно большой, это указывает на наличие значительных потерь при производстве, распределении и потреблении тепла для некоторых энергоносителей (например, пара или горячей воды). В этом случае, скорее всего, возможны и целесообразны действия по повышению энергоэффективности, например, улучшение теплоизоляции, возврата конденсата и т.д.

7.8. Другие инструменты аудита и поддержки мероприятий по повышению энергоэффективности на уровне предприятия

7.8.1. Инструменты аудита и менеджмента энергоэффективности

Было разработано множество инструментов «стандартизации» задач и методов энергоаудитов. Как правило, специализированные аудиторские компании используют свои собственные инструменты, например, контрольные списки. Другие инструменты аудита могут разрабатываться отраслевыми ассоциациями, государственными органами и т.д. Ниже кратко охарактеризованы некоторые инструменты, которые могут использоваться в процессе энергоаудита, а также мониторинга деятельности в области энергоэффективности и ее результатов. Во многих случаях области применения нескольких инструментов могут перекрываться, и аудитору или оператору необходимо выбрать оптимальный инструмент. Описываемые инструменты аудита носят общий характер и не являются специфичными для конкретной отрасли или модели аудита. Однако во многих случаях целесообразным является использование этих инструментов на определенных стадиях аудита:

руководство по аудиту, справочник по аудиту, руководство по менеджменту энергоэффективности: этот документ является важнейшим компонентом любой методологии энергоаудита, адресован, главным образом, аудиторам (или менеджерам в области энергоэффективности) и может использоваться как в практической работе, так и в процессе обучения. Как правило, такой документ описывает основные подходы и процедуру аудита, методики вычислений и оценок, а также характер и содержание типичных возможностей по сокращению энергопотребления. Хотя предполагается, что аудиторы имеют некоторые знания в области термодинамики и электротехники, руководства часто содержат сводку информации по этим вопросам;

контрольные списки, контрольные листы или руководства по обзорному обследованию: данные инструменты, ориентированные на аудит обзорного типа, разрабатываются для того, чтобы обеспечить надлежащее качество обследования за ограниченный промежуток времени. Эти инструменты рассчитаны, в первую очередь, на аудиторов, но могут использоваться для предварительной оценки и менеджерами промышленных предприятий, самостоятельно приступающими к деятельности в сфере энергоэффективности. Существуют следующие разновидности контрольных списков:

- общего характера (см. раздел 2.9);
- специфичные для конкретных видов деятельности (см. раздел 2.11);

- специфичные для конкретных типов технических систем (энергоресурсы, технические системы зданий);
- специфичные для определенных отраслей промышленности (конкретных технологических процессов).

Эти инструменты могут также использоваться для быстрого сравнения ведущейся деятельности по повышению энергоэффективности с передовыми практическими подходами в сфере менеджмента и технологий (см. «Разработка и соблюдение процедур» в разделе 2.1, а также «Совершенство в производственной деятельности» в разделе 2.5);

расчетные методы и программное обеспечение: эти инструменты (к числу которых относятся и энергетические модели) также занимают важное место в различных методологиях энергоаудита и используются для аналитического моделирования энергосистем и потоков энергоресурсов. Основная цель этих инструментов – помощь аудитору в количественной оценке потенциала энергосбережения, а также требуемых затрат и периодов окупаемости для различных вариантов мероприятий. В конечном счете, корректное использование аудитором рекомендованного или сертифицированного расчетного инструмента или модели позволяет повысить результативность мероприятий, осуществляемых клиентом по итогам аудита;

формы (бланки) для сбора данных: чаще всего эти инструменты, предназначенные для помощи аудитору в сборе всех необходимых данных, рассчитаны на совместное использование с определенными расчетными инструментами или моделями и разработаны как источники исходной информации для этих инструментов. Информация, собранная при помощи таких форм, может быть включена в аудиторский отчет, а также использована для интерпретации результатов аудита и при мониторинге результативности мероприятий, осуществляемых по итогам последнего;

шаблоны (стандартные форматы) отчетов: как и формы для сбора данных, шаблоны отчетов часто применяются совместно с расчетными инструментами, результаты применения которых подставляются в соответствующий раздел отчета. Поскольку отчет является основным документом, передаваемым клиенту по итогам аудита, инструменты, обеспечивающие высокое качество отчета, способствуют качественному выполнению аудита и оптимальному использованию его результатов;

контрольные списки для контроля качества аудиторских отчетов: списки такого рода могут использоваться как клиентом, так и самим аудитором (самопроверка). Контрольные списки могут использоваться совместно с шаблонами отчета или вместо них. Списки представляют собой сжатое отражение принятой модели или методологии энергоаудита: отчет должен содержать результаты, предусмотренные моделью, и контрольный список позволяет легко поверить выполнение этого требования;

целевые показатели или ориентиры (например, отраслевые): (см. раздел 2.16) такие показатели могут использоваться для обоснования необходимости энергоаудита или программы повышения энергоэффективности. Кроме того, они могут использоваться аудиторами для обоснования своих рекомендаций по итогам обзорного аудита, не предусматривающего детальных расчетов;

базы данных по возможным мероприятиям по повышению энергоэффективности: детальная оценка затрат и экономического эффекта, связанных с мероприятиями, предлагаемыми по итогами аудита, часто сопряжена с трудностями. База данных, содержащая информацию такого рода для типичных методов повышения энергоэффективности, способна обеспечить значительную экономию времени и затрат для аудитора и оператора, сократив тем самым затраты на проведение аудита без снижения его качества. Поддержание актуальности данных часто требует значительных усилий. В качестве примера данных можно привести:

- стандартные данные по различным показателям энергопотребления и характеристикам технологических процессов: эти данные могут использоваться при детальных расчетах вместо фактических данных, измерение или оценка которых могут быть сопряжены с трудностями. Источником стандартных или типичных данных могут быть базы данных (см. выше), справочные источники, опыт других предприятий, аудитов и т.п.

7.8.2. Протокол оценки и верификации

Международный протокол оценки и верификации (International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP) представляет собой признанный протокол по оценке и верификации объемов достигнутого энергосбережения. Протокол задает широкие рамки для гибкого применения разнообразных подходов к оценке и верификации энергосбережения в зданиях и технических системах зданий, например, в системах освещения (но не в промышленных технологических процессах). Протокол позволяет владельцам зданий, энергосервисным компаниям и банкам, финансирующим проекты, количественно оценивать результаты предпринятых мер по энергосбережению.

Протокол предлагает конкретные методы, учитывающие специфику затрат и результатов, связанных с определенными методами и технологиями повышения энергоэффективности. Каждый метод может применяться к определенным типам программ или проектов в зависимости от сложности предусмотренных мероприятий по энергосбережению и предполагаемых рисков. Аналогичным образом, с каждым методом оценки и верификации связаны определенные уровни точности и затрат, а также достоинства и ограничения. Одной из долгосрочных целей инициативы является содействие расширению услуг и решений по повышению энергоэффективности посредством разработки согласованной системы методов оценки и верификации, которые могут сопоставимым образом применяться к различным методам повышения эффективности, способствуя обеспечению надежных результатов проектов.

Протокол разработан и поддерживается Организацией по оценке эффективности (EVO, Efficiency Valuation Organisation). Дополнительная информация о протоколе доступна на сайте организации по адресу:

http://www.evo-world.org/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=80

[92, Motiva Oy, 2005, 227, TWG, , 250, ADEME, 2006, 261, Carbon_Trust_UK, 2005]

7.9. Сравнительный анализ

7.9.1. Нефтеперерабатывающие заводы

Нефтеперерабатывающие предприятия уже сейчас уделяют значительное внимание вопросам энергоэффективности, поскольку затраты на энергию составляют более половины эксплуатационных затрат отрасли в мировом масштабе. На уровне отдельного предприятия в качестве показателя общей энергоэффективности производства может использоваться коэффициент энергоемкости (КЭЕ). На практике более удобной для использования является аналогичная величина – отношение энергопотребления к объему переработанной сырой нефти. Использование этого показателя для отслеживания динамики энергоэффективности с течением времени требует некоторой интерпретации – необходимо отделить результаты менеджмента энергоэффективности от действия других факторов. Однако данный показатель не может использоваться для сравнения энергоэффективности различных нефтеперерабатывающих заводов, поскольку НПЗ существенно различаются между собой с точки зрения сложности и организации технологических процессов, перерабатываемого сырья и ассортимента выпускаемой продукции. Все эти факторы существенно влияют на энергопотребление нефтеперерабатывающих предприятий.

Нефтеперерабатывающие предприятия перерабатывают сырую нефть в нефтепродукты для различных вариантов применения, потребляя энергию в процессе переработки. Каждый НПЗ представляет собой сложное и уникальное сочетание отдельных производственных единиц. Предпринимаются попытки разработки показателей энергоэффективности, позволяющих учесть эту сложность и представить результаты сопоставимым образом с целью сравнения результативности различных предприятий, а также адекватного отражения динамики энергоэффективности с течением времени. Одним из таких показателей является индекс энергоемкости (ИЭЕ), специально разработанный для нефтеперерабатывающих предприятий компанией Solomon Associates. Эта компания раз в два года проводит сравнительный анализ предприятий мировой нефтеперерабатывающей отрасли, охватывающий различные производственные и экономические аспекты, включая, в частности, вопросы

энергоэффективности. Показатель ИЭЕ, используемый компанией для сравнения энергоэффективности различных производств, рассчитывается следующим образом:

$$ИЭЕ = 100 \cdot \frac{Общее\ энергопотребление\ НПЗ}{\sum (производительность\ пр.\ ед. \cdot станд.\ энергопотр.\ пр.\ ед.) + явное\ тепло + внешняя\ энергия}$$

В этом уравнении:

- числитель представляет собой общее фактическое энергопотребление предприятия (выраженное как низшая теплота сгорания топлива), включающее потребление как топлива, так и электроэнергии (как полученной из внешних источников, так и произведенной на предприятии), но также учитывающее любые поставки пара и/или электроэнергии за пределы предприятия. Электроэнергия, потребляемая из внешних сетей, приводится к теплоте сгорания первичного топлива с использованием стандартного КПД 37,5%;
- знаменатель переставляет собой стандартное энергопотребление предприятия данного типа (называемое также «целевым энергопотреблением»). Эта величина складывается из трех основных элементов:
    - сумма величин целевого энергопотребления для каждой из производственных единиц (установок): эта величина рассчитывается как произведение стандартного удельного энергопотребления для единицы данного типа (определяемого компанией Solomon Associates для каждого типа установок) и производительности данной единицы (выраженной как объем потребляемого сырья). Для некоторых типов установок стандартное энергопотребление зависит от качества сырья (например, характеристик сырой нефти), глубины переработки (например, в случае установок крекинга и риформинга), особенностей установки и т.п. Целевые величины энергопотребления всех производственных единиц складываются для получения целевого энергопотребления всех производственных мощностей предприятия;
    - явное тепло: этот член учитывает количество энергии, необходимое для нагрева всех входных потоков предприятия от температуры окружающей среды до температуры 104,4 °C. При этом учитываются нетто-объемы всех основных материальных потоков, которые «перерабатываются» на предприятии. Потоки, которые лишь смешиваются и покидают предприятие без дальнейшей переработки, не учитываются;
    - внешняя энергия: этот член учитывает энергопотребление во вспомогательных целях, имеющее место «между» основными перерабатывающими мощностями. В него входят, в частности, энергозатраты, связанные со смешиванием нефтепродуктов, а также эксплуатацией распределительных систем, резервуарных парков (например, затраты на подогрев резервуаров и трубопроводов) и природоохранных объектов. При расчете стандартного показателя учитываются объемы сырья, потребляемого производственными единицами, объем деятельности по смешиванию нефтепродуктов, а также степень сложности НПЗ в целом.

ИЭЕ представляет собой безразмерную величину и, в отличие от ИЭЭ, описанного в разделе 1.3, тем ниже, чем выше общая энергоэффективность производства.

Целью разработки ИЭЕ является обеспечение возможности сопоставления энергоэффективности НПЗ, состоящих из различных производственных единиц и характеризующихся различным уровнем сложности производства. Однако отрасль в целом рассматривает его как несовершенный инструмент, применимый, в лучшем случае, для приблизительного сравнения предприятий. Некоторые предприятия с высоким уровнем ИЭЕ (т.е. низким уровнем энергоэффективности) располагают лишь немногими возможностями для повышения энергоэффективности, тогда как некоторые НПЗ с низким уровнем ИЭЕ располагают значительным потенциалом для улучшения показателей. Более того, ИЭЕ не позволяет выявить приоритетные области или подразделения для

улучшения. Для этой цели более полезным может оказаться анализ энергоэффективности отдельных производственных единиц предприятия [227, TWG].

7.9.2. Австрийское энергетическое агентство

В докладе Австрийского энергетического агентства (AEA) «Сравнительный анализ использования энергии на уровне компаний», помимо данных по удельному энергопотреблению, приводятся и другие сравнительные данные по использованию энергии и уровню энергоэффективности в компаниях.

В частности, в докладе приведены данные о применении на предприятиях различных методов повышения энергоэффективности (см. раздел 3):

- периодичность проверки котлов (100% компаний сообщили о частых проверках котлов);
- периодичность проверки трубопроводов сжатого воздуха (только 25% компаний систематически отключают тупиковые ветки, возникающие в результате изменения производственного процесса; 50% компаний время от времени проверяют состояние тупиковых веток);
- использование энергосберегающих технологий (включая, частности. приводы переменной скорости, энергоэффективные двигатели, утилизацию тепла, тепловые насосы, энергоэффективное освещение, а также техническое обслуживание котлоагрегатов и систем сжатого воздуха).

Следует, однако, отметить, что такой подход к сравнительному анализу может стимулировать скорее подход «снизу вверх» (т.е. оптимизацию отдельных компонентов) вместо оценки и оптимизации системы в целом.

7.9.3. Схема для норвежских МСП

В Норвегии принята схема сравнительного анализа энергоэффективности для малых и средних предприятий (МСП), центральным элементом которой является специализированный сайт в Интернете. Сравнение осуществляется на основе удельного энергопотребления (например, кВт·ч на кг продукции) компаний. Удельное энергопотребление рассчитывается исходя из общего потребления энергии и общего объема выпускаемой продукции. К настоящему моменту в схеме участвуют 800 компаний, разбитых для целей сравнения на 43 группы. Поскольку одно предприятие, как правило, производит несколько видов продукции с различными уровнями энергоемкости, для учета подобных особенностей при сравнении используются поправочные коэффициенты.

7.9.4. Соглашения о сравнительном анализе в Нидерландах

В Нидерландах между правительством страны и крупными компаниями (потребляющими более 0,5 ПДж/год) заключаются долгосрочные соглашения, направленные на снижение выбросов CO_2. Эти соглашения предусматривают в частности, сравнительный анализ деятельности компаний.

В качестве примера можно рассмотреть картонно-бумажную промышленность Нидерландов, в состав которой входит 26 производственных предприятий, и которая является значительным потребителем энергии в национальном масштабе. В соглашениях, заключенных с правительством, компании обязуются снизить энергопотребление до уровня лучших мировых предприятий в соответствующей отрасли. Под «лучшими мировыми предприятиями» в данном контексте подразумеваются 10% мировых предприятий с наивысшим уровнем энергоэффективности. Национальная отраслевая ассоциация играет ведущую роль в осуществлении сравнительного анализа. В частности, ассоциация наняла двух консультантов, один из которых является специалистом по финансовому учету, а другой – инженером с опытом работы в отрасли.

Соглашения содержат определенные положения относительно методики сравнительного анализа. Так, при расчете энергоэффективности должна учитываться низшая теплота сгорания любого первичного топлива, используемого на предприятии (например, для производства пара и электроэнергии, непосредственного нагрева, в двигателях внутреннего сгорания). Электричество,

получаемое из национальных сетей или поставляемое в них, пересчитывается в теплоту сгорания первичного топлива с использованием стандартного КПД 40%.

Консультанты оценивали энергоэффективность производства бумаги и картона на предприятиях во всем мире, используя информацию из открытых источников, а также собственные базы данных. Поскольку предприятия Нидерландов производят лишь бумагу и картон, но не целлюлозу, оценивалась лишь эта часть производственного процесса. Отдельно оценивалась энергоэффективность следующих производственных единиц и составляющих технологического процесса:

- подготовка сырья;
- бумагоделательная машина;
- заключительные операции (намотка, нарезка, упаковка и т.д.);
- преобразование энергии;
- вспомогательные службы и производства.

Был введен ряд поправочных коэффициентов для учета различных особенностей производственного процесса. В частности, учитывались такие аспекты, как состав сырья, необходимость удаления типографской краски из макулатуры, размер продукции, наличие и характер водоочистных сооружений, а также характер энергопотребления.

На основе опыта 10% лучших мировых предприятий были выявлены передовые подходы в области обеспечения энергоэффективности, сгруппированные по шести сегментам отрасли (в зависимости от типа конечной продукции):

- газетная бумага;
- книжно-журнальная и писчая бумага;
- санитарно-гигиеническая бумага;
- тарный картон;
- картон для потребительской тары;
- специализированные сорта бумаги и картона (как правило, производимые небольшими предприятиями).

(Аналогичная схема сравнительного анализа функционирует во Фландрии, Бельгия) [227, TWG].

7.9.5. Сравнительный анализ в стекольной промышленности

Стекольная промышленность работает над выявлением наиболее энергоэффективных методов варки стекла (на которую приходится значительная часть общего энергопотребления отрасли). Работа ведется в нескольких направлениях:

- выявление наилучших практических подходов и применение энергетических балансов;
- определение теоретической потребности в энергии и энтальпии, а также минимальных практически достижимых уровней энергопотребления;
- сравнительный анализ удельного энергопотребления промышленных стекловаренных печей;
- разработка новых технологий варки и осветления.

С 1999 г. были собраны данные по примерно 250 стекловаренным печам для целей сравнительного анализа различных подотраслей стекольной промышленности. К сожалению, оказалось невозможным получить полные и достоверные данные по предприятиям всего мира; однако были получены данные о предприятиях ЕС, Японии, США, Канады и Турции.

В процессе анализа данных было выполнено ранжирование по удельной энергоемкости производства, и были отобраны 10% наиболее эффективных печей в мире. Были также определены наиболее эффективные производства для каждого региона. Кроме того, было также

оценен наименьший практически достижимый уровень энергопотребления при одновременном использовании всех наилучших доступных технологий (определенных на основе литературных источников, информации поставщиков, а также Справочного документа по стекольной промышленности).

Было рассчитано минимальное теоретическое энергопотребление и разработаны соответствующие термодинамические модели. Согласно полученным данным, при температуре варки 1400°C и использовании типичной содово-известково-песчаной шихты требуется 0,52 МДж/кг стекла для химических реакций и 1,75 МДж/кг на нагрев стекломассы до необходимой температуры.

Было установлено, что на энергоэффективность производства существенно влияют следующее параметры:

- доля боя в сырье;
- характеристики сырья;
- возраст и тип печи;
- удельный съем стекломассы и скорость вытягивания;
- наличие дополнительного электроподогрева;
- предварительный подогрев сырья;
- другие факторы, включая:
    - конструкцию печи и состояние теплоизоляции;
    - коэффициент избытка воздуха;
    - тип горелок и топлива.

Потребление электроэнергии, а также затраты энергии на получение кислорода (в случае кислородного дутья) были пересчитаны в теплоту сгорания первичного топлива. Были также введены поправочные коэффициенты для устранения различий, связанных с долей боя в исходном сырье. Было возможно также устранить влияние других факторов, например, возраста печи, однако это не позволило бы адекватно отразить в показателях энергоэффективности влияние реконструкций и ремонтов.

В результате уровень энергопотребления 10% лучших мировых печей был определен как 4285 МДж/т стекольной массы; при этом разница между наилучшим и медианным уровнем энергоэффективности составила 25 %. Были определены наилучшие практические подходы при изготовлении тарного и листового стекла.

7.9.6. Распределение энергозатрат и выбросов CO_2 между различными видами продукции в сложном последовательном процессе

USIPA – Французская ассоциация производителей крахмала – с помощью компании PriceHousewaterCoopers разработала методику распределения энергозатрат между видами продукции при производстве крахмала и продуктов его переработки. Эта методика используется для:

- распределения энергозатрат между различными стадиями производственного процесса и видами продукции;
- распределения выбросов CO_2 между различными стадиями производственного процесса и видами продукции;
- выявления возможностей для повышения энергоэффективности.

Поэтому данная методика может быть использована в качестве инструмента сравнительного анализа.

Для крахмального производства характерно получение широкого диапазона продуктов из небольшого количества видов сырья; при этом производственный процесс состоит из нескольких

последовательных стадий. Продукция одной стадии может быть либо продана потребителям, либо использована в качестве сырья для производства другого вида продукции на следующей стадии.

В условиях реального производства различные стадии четко отделены друг от друга – они выполняются на различных участках и/или с использованием различного оборудования. Технологический процесс на разных стадиях может быть периодическим или непрерывным.

Сырье → крахмал → сахара → различная продукция → полиолы (сахарные спирты)

Для упрощения методики все виды продукции были объединены в несколько групп однородной продукции, включая сухие крахмалы (натуральные или модифицированные), жидкие сахара, сухие сахара, жидкая декстроза, сухая декстроза, жидкие полиолы, сухие полиолы, продукты ферментации.

В процессе применения методики энергозатраты (и пропорциональные им выбросы CO_2) распределяются по различным стадиям производственного процесса и, как следствие, по видам продукции. Могут быть рассчитаны коэффициенты удельного энергопотребления при производстве конкретных видов конечной продукции. Поскольку содержание воды в продукции может меняться от одной стадии к другой, для расчета всех удельных величин используется сухая масса продукции.

Например, каждой стадии производственного процесса присваивается величина выбросов CO_2 исходя из потребления пара (и соответствующих выбросов при его производстве), а также потребления топлива для сушилок на данной стадии. На основе этих данных могут быть рассчитаны удельные выбросы CO_2 для данной стадии, а затем – удельные выбросы для каждого вида продукции (исходя из последовательных стадий, которых потребовало его производство).

Данная методика сама по себе не позволяет выработать мер по повышению энергоэффективности, однако она способствует лучшему пониманию:

- вклада каждой стадии производственного процесса в энергопотребление предприятия и выбросы CO_2;
- вклада различных групп продукции в общее энергопотребление предприятия.

Применение методики требует получения данных по характеристикам каждой стадии производственного процесса (объем производства, использование различных форм энергии и т.д.), к которым затем применяются расчетные методы.

Примеры:

Выбросы CO_2 крахмальных предприятий Франции – удельные выбросы для различных видов продукции.

Данная методика использовалась одной из французских компаний при принятии добровольных обязательств по ограничению выбросов парниковых газов (AERES).

Справочная информация

USIPA – PWC reports [227, TWG]

7.10. Примеры к главе 3

7.10.1. Паровые системы

Пример 1. Теплоизоляция клапанов

Теплоизоляция одного 100-мм клапана на паропроводе с давлением пара 800 кПа (8 бар) и температурой 175ºC, находящегося в помещении, приводит к снижению потерь на 0,6 кВт. Это позволяет снизить затраты на топливо для котла на 40 евро/год и обеспечивает энергосбережение в объеме 5 МВт-ч/год.

На предприятии Johnson Matthey Catalysts (г. Тиссайд, Великобритания) теплоизоляция клапанов и фланцев позволила достичь следующих результатов:

- энергосбережение в объеме 590 МВт-ч/год;
- сокращение выбросов углерода на 29 т/год;
- период окупаемости инвестиций – 1,6 года.

Пример 2. Предварительный подогрев питательной воды (в т.ч. с помощью экономайзера) (см. раздел 3.2.5)

В качестве примера рассмотрим применение экономайзера для подогрева питательной воды для газового котла с номинальной производительностью 5 т пара в час, давление – 20 бар (м).

Предполагается, что котел функционирует 6500 ч/год со средней мощностью, составляющей 80% от номинальной. Газ приобретается по цене 5 евро/ГДж.

Экономайзер будет использоваться для подогрева сырой воды перед поступлением ее в деаэратор. Предполагается, что половину питательной воды составляет возвращаемый конденсат, а вторая половина будет восполняться за счет свежей подпиточной воды. Из этого следует, что использование экономайзера позволит повысить КПД котлоагрегата на 4,5 %.

В настоящее время затраты на топливо для котла составляют:

$$\frac{6500\ ч/год \cdot (2798{,}2 - 251{,}2)\ кДж/год \cdot 5т/ч \cdot 5\ евро/ГДж}{0{,}80 \cdot 1000} = 517359\ евро/год$$

Установка экономайзера позволит сократить эти затраты до:

$$\frac{6500\ ч/год \cdot (2798{,}2 - 251{,}2)\ кДж/год \cdot 5т/ч \cdot 5\ евро/ГДж}{0{,}845 \cdot 1000} = 489808\ евро/год$$

Таким образом, затраты будут снижены на 27551 евро/год.

Пример 3. Установка экономайзера (см. раздел 3.2.5)

Котлоагрегат, работающий на природном газе, производит 20,4 т/ч пара с давлением 1 бар (м). Конденсат частично возвращается в котел и смешивается с подпиточной водой; температура получаемой таким образом питательной воды составляет 47°C. Температура дымовых газов, по данным измерений, составляет 260°C. Котлоагрегат функционирует 8400 час./год; при этом стоимость энергии составляет 4,27 долл./ГДж. Объем энергосбережения в результате установки экономайзера может быть рассчитан следующим образом:

удельная энтальпия:

- насыщенный пар при 1 бар (м) – 2780 кДж/кг;
- питательная вода, 47°C – 198 кДж/кг.

Теплопроизводительность котла = 20400 кг/ч · (2781 – 198) кДж/кг = 52,693 млн. кДж/ч = 14640 кВт.

Согласно табл. 3.7, потенциал утилизации тепла, соответствующий температуре дымовых газов 260°C и теплопроизводительности котла на природном газе 14640 кВт, составляет примерно 1350 кВт.

Экономический эффект = 1350 кДж/с · 4,27долл./106кДж · 8400 ч/год · 3600 с/ч = 174318 долл./год = 197800 евро/год (1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Предотвращение образования и удаление отложений накипи с поверхностей теплообмена (см. раздел 3.2.6)

Пример 1

Паровой котел ежегодно потребляет 304 тыс. Нм³ природного газа; среднее время работы котла составляет 8000 ч/год. Образование на поверхностях теплообмена накипи толщиной 0,3 мм приводит к снижению коэффициента теплопередачи на 2,9%.

Это, в свою очередь, приводит к увеличению затрат на приобретение топлива по сравнению с исходной ситуацией на следующую величину:

304000 Нм³/год · 2,9% · 0,15 евро/Нм³ = 1322 евро/год.

Пример 2

Котел ежегодно потребляет топливо с общей теплотой сгорания 474800 ГДж; время работы при номинальной мощности составляет 8000 ч/год. При этом котел производит 20,4 т/ч пара с давлением 1 бар (м). Если на трубах котла образуется накипь «нормального» состава толщиной около 0,8 мм, это приводит к потере примерно 2% теплоты сгорания топлива. В предположении цены топлива 2,844 долл./ГДж получаем следующее увеличение затрат:

увеличение производственных затрат = 474800 ГДж/год · 2,844 долл./ГДж · 0,02 = 27000 долл./год = 30637 евро/год (1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Минимизация величины продувки котла (см. раздел 3.2.7)

Пример 1

Жаротрубный котел со временем работы 5500 ч/год, производящий пар с давлением 25 бар, оборудуется автоматизированной системой управления продувкой. Система позволяет снизить величину продувки с 8 до 6%. Котел, КПД которого составляет 82%, производит 25 т пара в час. Стоимость природного газа составляет 5 евро/ГДж.

Подпиточная вода имеет температуру 20°C и обходится предприятию в 1,3 евро/т (включая водоподготовку). Плата за сброс сточных вод составляет 0,1 евро/т.

Предполагается, что возврат конденсата полностью отсутствует, поэтому в котел поступает только сырая вода. Минерализация сырой воды составляет 222 мкСм/см. Эта величина отражает количество солей, растворенных в воде. Максимальный допустимый уровень минерализации воды в котле составляет 3000–4000 мкСм/см.

Таким образом, необходимый коэффициент продувки B (отношение массы продувочных вод к массе производимого пара) можно оценить исходя из следующих соображений:

- количество солей, поступающих в котел, равно количеству солей, удаляемых с продувочными водами;
- (25 000 + B) · 222 = B · 3000.

Таким образом, величина продувки составляет 1998 л/ч, а коэффициент продувки –8 %.

Требуемый расход подпиточной воды при данном коэффициенте продувки составляет:

- 25000 кг/ч · (1 + 0,08) = 28000 л/ч.

Установка системы управления продувкой позволяет снизить коэффициент продувки до 6%:

- 25000 кг/ч · (1 + 0,06) = 27500 л/ч, уменьшение расхода составляет 500 л/ч;
- энтальпия воды в котле при давлении 25 бар(м): 972,1 кДж/кг;
- энтальпия питательной воды при температуре 20°C и атмосферном давлении: 83,9 кДж/кг;
- увеличение энтальпии воды составляет 888,2 кДж/кг.

Достигнутое в результате сокращение затрат на топливо составляет:

500 л/ч · 5500 ч · 888,2 кДж/кг · 5 евро/ГДж/0,82/1000000 = 14894 евро/год

Кроме того, было достигнуто сокращение затрат, связанных с водоподготовкой и сбросом сточных вод. Расход подпиточной воды был сокращен на:

500 л/ч · 5500 ч/год = 2750 т/год.

Соответствующее снижение затрат составляет 3850 евро/год.

Таким образом, экономический эффект от установки системы составляет 18744 евро/год.

[227, TWG]

Пример 2

Предположим, что установка автоматизированной системы управления продувкой позволяет снизить коэффициент продувки с 8 до 6%. В данном примере предполагается, что газовый котел с давлением пара 1 бар (м) и производительностью 45350 кг/ч пара функционирует постоянно. Температура подпиточной воды составляет 16ºС, КПД котла – 82 %, стоимость топлива – 2,844 долл./Дж, а общие затраты на получение и подготовку воды, а также сбросы сточных вод составляют 0,001057 долл./кг. Тогда годовой экономический эффект составляет:

подпиточная вода:

до мероприятий: 45350/(1 – 0,08) = 49295 кг/ч;

после мероприятий: 45350/(1 – 0,06) = 48246 кг/ч;

экономия подпиточной воды: 49295 – 48244 = 1049 кг/ч;

энтальпия:

воды в котле: 787,4 кДж/кг;

подпиточной воды при 16ºС: 65,1 кДж/кг;

экономия тепловой энергии: 787,4 – 65,1 = 722,3 кДж/кг;

экономия топлива = 1049 кг/ч · 8760 ч/год · 722,3 кДж/кг · 2,844 ГДж/0,82 · 10 = 23064 долл./год;

экономия на платежах за водопользование и сбросы, а также водоподготовке:

1049 кг/ч · 8760 ч/год · 0,001056 долл./кг = 9714 долл./год

общая экономия: 23064 + 9714 = 32778 долл. = 37192,11 евро (1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Утилизация тепла продувочной воды котла (см. раздел 3.2.15)

Пример 1

На предприятии устанавливается теплообменник для подогрева свежей подпиточной воды котла за счет тепла продувочной воды. Котел функционирует 7600 ч/год и имеет КПД 82%. Давление производимого пара составляет 10 бар (м), расход свежей питательной воды – 5,3 т/ч, коэффициент продувки – 6%. Стоимость топлива составляет 4 евро/ГДж.

Как следует из табл. 3.17 (раздел 3.2.15), на каждые 10 т/ч массового расхода пара при коэффициенте продувки 6% может быть достигнут объем утилизации тепла 368 МДж/ч. При данном расходе подпиточной воды потенциал утилизации тепла составляет 5,3/10 · 368 = 195 МДж/ч.

Таким образом, экономический эффект составляет:

$$\frac{7600\ ч/год \cdot 195\ МДж/ч \cdot 4\ евро/ГДж}{1000 \cdot 0{,}82} = 7229\ евро/год$$

Теплоизоляция паропроводов и конденсатопроводов (см. раздел 3.2.11)

Пример

В результате обследования паровой системы на предприятии, где стоимость пара составляет 4,265 долл./ГДж, были выявлены неизолированные участки паропровода с давлением 10 бар (м): длиной 342 м и диаметром 25 мм, а также длиной 53 м и диаметром 50 мм. Кроме того, был выявлен неизолированный участок паропровода с давлением 1 бар (м) длиной 76 м и диаметром 100 мм. Согласно табл. 3.10 (раздел 3.2.11), потери тепла составляют:

25-мм участок: 342 м · 301 ГДж/год (на 30 м) = 102942 ГДж/г;

50-мм участок: 53 м · 506 ГДж/год (на 30 м) = 26 818 ГДж/г;

100-мм участок: 76 м · 438 ГДж/год (на 30 м) = 33 288 ГДж/г;

общие потери тепла: (102942 + 26818 + 33288)/30 м = 5435 ГДж.

Таким образом, сокращение производственных затрат за счет установки теплоизоляции с эффективностью 90% составит:

0,90 · 4,265 долл./ГДж · 5435 ГДж/год = 20860 долл. = 23670 евро

(1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Использование съемных панелей для теплоизоляции клапанов и фитингов (см. раздел 3.2.11.1)

Используя данные табл. 3.11 (раздел 3.2.11.1), можно оценить экономию топлива и сокращение затрат за счет установки теплоизоляционной панели толщиной 25 мм на неизолированный 150-мм запорный клапан на паропроводе насыщенного пара с давлением 17,24 бар (м) и температурой 208ºC. Предполагая, что паропровод эксплуатируется постоянно, КПД котла составляет 80%, а стоимость топлива –4,265 долл./ГДж, получаем:

экономия топлива: 1751 Вт · 8760 ч/год · 1/0,80 · 3600 с/ч = 69,024 ГДж/год;

сокращение затрат: 69,024 ГДж/год · 4,265 долл./ГДж = 295 долл/год = 334,73 евро/год на один 150-мм клапан (1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Реализация программы контроля состояния конденсатоотводчиков и их ремонта (см. раздел 3.2.12)

Пример 1

Потери пара для конденсатоотводчика могут быть оценены при помощи следующей формулы:

$$L_{t,y} = \frac{1}{150} \cdot FT_{t,y} \cdot FS_{t,y} \cdot CV_{t,y} \cdot h_{t,y} \cdot \sqrt{P_{in,t}^2 - P_{out,t}^2} \qquad \textbf{Уравнение 7.25}$$

где:

$L_{t,y}$ – общие потери пара из конденсатоотводчика t за период времени y (в тоннах);

$FT_{t,y}$ – показатель состояния конденсатоотводчика t в период времени y;

$FS_{t,y}$ – коэффициент загрузки конденсатоотводчика t в период времени y;

$CV_{t,y}$ – коэффициент потока конденсатоотводчика t в период времени y;

$h_{t,y}$ – время работы конденсатоотводчика t за период времени y (в часах);

$P_{in,t}$ – входное давление пара конденсатоотводчика t (атм);

$P_{out,t}$ – выходное давление пара конденсатоотводчика t (атм).

Показатель состояния конденсатоотводчика $FT_{t,y}$ определяется по таблице 7.11:

	Тип	**FT**
BT	Продув	1
LK	Утечка	0,25
RC	Быстрый цикл	0,20

Таблица 7.11: Показатель состояния коненсатоотводчика для расчета потерь пара

Коэффициент загрузки учитывает взаимодействие между паром и конденсатом. Чем больше конденсата протекает через устройство, тем меньше пространства остается для пара. Величина коэффициента зависит от характера применения конденсатоотводчика, как показано в табл. 7.12:

Применение	**Коэффициент загрузки**
Стандартное применение	0,9
Дренажный конденсатоотводчик	1,4
Поток пара (конденсат отсутствует)	2,1

Таблица 7.12: Коэффициент загрузки конденсатоотводчика для расчета потерь пара

Наконец, коэффициент потока определяется размером трубы:

$CV = 3{,}43D^2$,

где D – внутренний диаметр трубы (см).

Рассмотрим пример расчета потерь:

$FT_{t,yr} = 0{,}25$;

$FS_{t,yr} = 0{,}9$ – поскольку имеет место конденсация пара, и объемы конденсата соответствуют емкости конденсатоотводчика (см. табл. 7.12);

$CV_{t,yr} = 7{,}72$;

$D = 1{,}5$ см;

$h_{t,y} = 6000$ ч/год;

$P_{in,t} = 16$ атм;

$P_{out,t} = 1$ атм.

Таким образом, потери пара для данного конденсатоотводчика составляют до 1110 т пара в год.

Если стоимость пара для данной установки равна 15 евро/т, то в денежном выражении потери составляют 16650 евро/год.

Если имеют место не утечки, а потеря всего пара, поступающего в данный конденсатоотводчик, затраты могут достичь 66570 евро/год.

Подобные масштабы потерь легко оправдывают внедрение эффективной системы контроля и технического обслуживания, охватывающей все конденсатоотводчики предприятия.

Пример 2

На предприятии себестоимость пара составляет 9,92 долл./т. Конденсатоотводчик на паропроводе с давлением 10 бар (м) вышел из строя и постоянно находится в открытом состоянии. Диаметр отверстия составляет 3 мм. Согласно табл. 3.12 (раздел 3.2.12), примерная величина потерь пара составляет 34,4 кг/ч. В результате устранения неисправности может быть достигнут следующий экономический эффект:

34,4 кг/ч · 8760 ч/год · 9,92/1000 долл./кг = 2988 долл./год = EUR 3390,45

(1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Повторное использование выпара (см. раздел 3.2.14)

Пример 1

Котлоагрегат и труба для отвода выпара имеют следующие характеристики:

- скорость выпара: 1.5 м/с;
- диаметр трубы выпара: 102 мм;
- время работы: 8000 ч/год;
- КПД котла: 82%;
- стоимость топлива: 4,265 долл./ГДж.

Установка конденсатора выпара позволит использовать энергию последнего для подогрева подпиточной воды котла, после чего конденсат также может быть возвращен в котел. При этом утилизация энергии происходит не только в форме подогрева воды, но и за счет возврата чистого дистиллированного конденсата, на подготовку которого не требуется дополнительной энергии.

Потенциал утилизации тепла за счет конденсации выпара					
Диаметр трубы, мм	**Содержание энергии, ГДж/год***				
	Скорость пара, м/с				
	1	**1,5**	**2**	**2,5**	**3**
50	95	148	195	243	295
102	390	586	781	976	1171
152	881	1319	1757	2200	2638
254	2442	3661	4885	6198	7327
* В предположении непрерывного функционирования, температуры подпиточной воды 21ºC и температуры конденсата 38ºC					

Таблица 7.13: Потенциал утилизации энергии за счет конденсации выпара для различных диаметров трубы и скоростей пара

Адаптировано из [123, US_DOE]

Как следует из табл. 7.15, в условиях данного примера объем энергосбережения составил бы 586 ГДж при непрерывной работе котла (8670 ч/год). При этом сокращение затрат на топливо составит:

экономия энергии топлива: 586 ГДж/год · 8000 ч/год/8760 ч/год · 1/0,82 = 652 ГДж/год

потенциал снижения затрат: 652 ГДж/год · 4,265 долл./ГДж = 2781 долл./год = 3155,57 евро/год

(1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Следует отметить, что данная оценка относится к одной трубе выпара. Часто на предприятии имеется несколько таких труб, и общий экономический эффект может быть значительно большим. При экономической оценке должны быть учтены затраты на установку теплообменника, однако, согласно литературным источникам, для данного мероприятия характерен относительно небольшой период окупаемости.

В табл. 7.14 представлено количество пара, получаемого при выпаривании конденсата высокого давления, в зависимости от давления конденсата и пара.

Выпаривание конденсата высокого давления				
Давление конденсата, бар (м)	**Доля выпаренного конденсата (кг пара/кг конденсата)**			
	Пар низкого давления, бар (м)			
	3,4	2	1	0,34
15	10,4	12,8	15,2	17,3
10	7,8	10,3	12,7	14,9
7	4,6	7,1	9,6	11,8
5	2,5	5,1	7,6	9,9

Таблица 7.14: Доля пара, получаемого при выпаривании конденсата высокого давления в зависимости от давления пара и конденсата

Адаптировано из [123, US_DOE]

Пример 2

На предприятии, где себестоимость пара составляет 4,265 долл./ГДж, производится насыщенный пар с давлением 10 бар (м), а затем часть этого пара дросселируется для получения пара с давлением 2 бар (м). В предположении непрерывного функционирования оценим экономический

эффект, достигаемый за счет выпаривания 2268 кг/ч конденсата с давлением 10 бар (м). Средняя температура подпиточной воды котла составляет 21ºC.

Как следует из табл. 7.14, при выпаривании конденсата с давлением 10 бар (м) при давлении 2 бар (м), испаряется 10,3% конденсата.

При этом образуется: 2268 кг/ч · 0,103 = 233,6 кг/ч пара низкого давления.

Согласно таблицам свойств пара ASME, значения энтальпии составляют:

- насыщенный пар 2 бар (м): 2725,8 кДж/кг;
- подпиточная вода при 21ºC: 88,4 кДж/кг.

Экономический эффект можно оценить следующим образом:

233,6 кг/ч · (2725,8 – 88,4) кДж/кг · 8760 ч/год · 4,265 долл./ГДж = 23019 долл. = 26119,37 евро.

(1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

Минимизация работы котла короткими циклами (см. раздел 3.2.9)

Пример 1

Котел со средним КПД 72,7 % (E1) заменяется котлом меньшей мощности, средний КПД которого составляет 78,8 % (E2). Относительная экономия топлива составляет:

(1 – E1/E2) = (1 – 72,7/78,8) · 100 = 7,7%

Если старый котел потреблял 211000 ГДж топлива ежегодно, снижение эксплуатационных затрат в результате использования нового котла составляет (в предположении, что цена топлива равна 2,844/ГДж):

211000 ГДж/год · 0.077 · 2,844 долл./ГДж = 46200 долл./год= 52422,56 евро/год

(1 долл. = 1,1347 евро, обменный курс на 1 января 2002 г.).

7.10.2. Утилизация отходящего тепла

Кислотная промывка теплобменников

В основе процесса Байера – широко распространенного метода получения глинозема из бокситовых руд – лежит выщелачивание руды при высокой температуре. В зависимости от типа бокситов, температура выщелачивания может достигать 250°C, как на итальянском глиноземном заводе, пример которого рассматривается в этом разделе, и многих других предприятиях, или составлять всего около 140°C, как на некоторых глиноземных заводах Западной Австралии.

После выщелачивания боксита пульпа проходит процесс самоиспарения (сепарации), который осуществляется в несколько ступеней. При этом температура и давление пульпы постепенно доводятся до условий внешней среды.

Тепло пара, образующегося в процессе самоиспарения, утилизируется за счет конденсации в межтрубном пространстве кожухотрубных теплообменников. Это тепло используется для нагрева движущегося по трубам щелочного раствора, возвращаемого на передел выщелачивания. Эффективность утилизации тепла вторичного (сепараторного) пара является крайне важным фактором энергоэффективности всего технологического процесса. Чем больше тепла вторичного пара передается раствору, тем меньше свежего пара требуется для выщелачивания, что, в свою очередь, позволяет снизить общее потребление топлива.

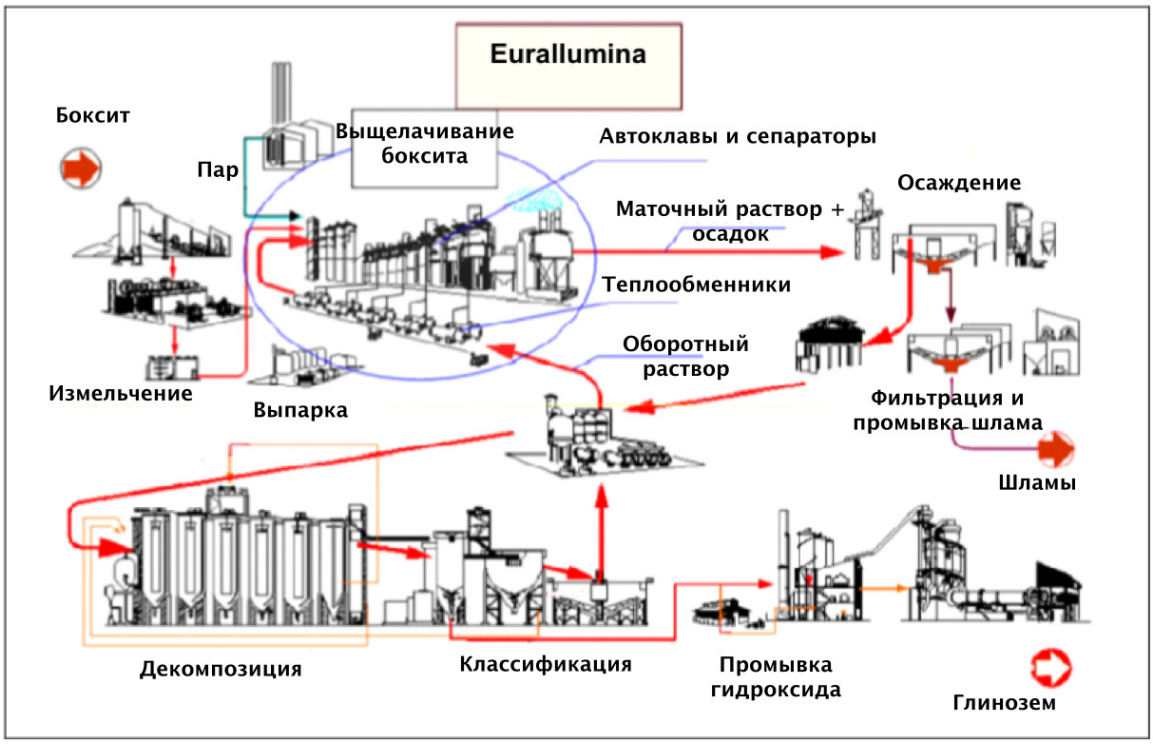


Рисунок 7.14: Схема технологического процесса глиноземного завода Eurallumina

[48, Teodosi, 2005]

Общая характеристика метода повышения энергоэффективности

Кожухотрубные теплообменники подвергаются регулярной кислотной промывке для очистки внутренних поверхностей труб и восстановления коэффициента теплопередачи. На внутренних стенках труб образуется кремниевая накипь вследствие кристаллизации диоксида кремня из щелочного раствора, в особенности при высоких температурах.

Несмотря на то, что предприятия, как правило, принимают меры по удалению кремния из раствора, содержание кремния остается настолько высоким, что образование накипи способно существенно повлиять на степень утилизации энергии сепараторного пара и, как следствие, на общую энергоэффективность производства.

Оптимизация периодичности кислотной промывки способна повысить средний коэффициент теплопередачи поверхностей теплообмена, способствуя тем самым сокращению потребления топлива.

Экологические преимущества (прежде всего, в области энергоэффективности)

Предприятие сократило продолжительность рабочего цикла теплообменников с 15 до 10 дней, следствием чего явилось повышение частоты кислотных промывок. В свою очередь, это привело к увеличению среднего коэффициента теплопередачи и улучшению показателей утилизации энергии сепараторного пара (см. рис. 7.15).

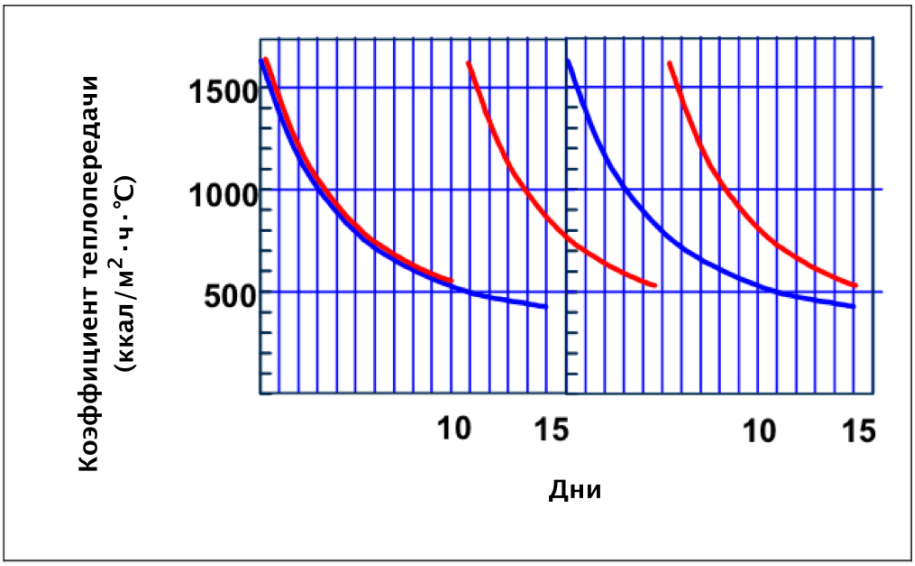


Рисунок 7.15: Рабочий цикл теплообменников и изменение коэффициента теплопередачи

[48, Teodosi, 2005]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Единственным негативным побочным эффектом данной практики является увеличение объемов отработанной кислоты, которые должны быть размещены тем или иным образом. Однако в случае процесса Байера это не создает никаких дополнительных проблем, поскольку отходы основного процесса (т.н. красный шлам) являются щелочными. Наличие кислого потока отходов предоставляет дополнительные возможности для нейтрализации шлама перед его размещением в шламохранилище.

Производственная информация

Как уже отмечалось, данная практика приводит к сокращению потребления энергии и экономии топлива (см. «Экономические аспекты»). Сокращение сжигания топлива приводит и к уменьшению выбросов – согласно оценкам, реализованные мероприятия привели к сокращению выбросов CO_2 примерно на 10 тыс. т/год. До внедрения на предприятии процесса десульфуризации дымовых газов в 2000 г. еще одним результатом было сокращение выбросов SO_2 на 150 т/год.

Кислотная промывка труб требует приготовления кислотного раствора рекомендуемой концентрации, а также добавления ингибиторов коррозии для защиты металлических поверхностей. Полезной мерой защиты труб во время промывки является также циркуляция холодной воды в межтрубном пространстве теплообменника с целью предотвращения возможных случаев локального повышения температуры.

Применимость

Высокотемпературные теплообменники на рассматриваемом предприятии были оснащены трубами из нержавеющей стали с целью предотвращения коррозии и утечек. Мотивами для такого решения послужили стремление к обеспечению непрерывности технологического процесса и необходимость обеспечения чистоты конденсата, используемого в качестве питательной воды для котлов. Кроме того, этот фактор способствовал обеспечению длительного срока службы теплообменников (более 12 лет), несмотря на частые кислотные промывки.

Экономические аспекты

Затраты, связанные с учащением кислотных промывок, включают незначительные инвестиции, которые могут потребоваться на некоторых участках вследствие более короткого рабочего цикла теплообменников, а также эксплуатационные затраты на проведение дополнительных промывок. Экономический эффект выражается в форме сокращения потребления топлива и выбросов парниковых газов.

Достигнутое повышение энергоэффективности процесса соответствует снижению потребления мазута примерно на 3 кг на тонну глинозема или сокращению общего потребления топлива на 1,6%. Исходя из мощности глиноземного завода около 1 млн. т/год, получаем экономию мазута в размере 3000 т/год.

Мотивы внедрения

Экономические соображения.

Примеры

Eurallumina, Италия.

Справочная информация

[48, Teodosi, 2005]

Утилизация избыточного тепла на картонной фабрике

Общая характеристика метода повышения энергоэффективности

Сотрудничество между муниципальными службами и промышленными предприятиями является одним из важных факторов повышения энергоэффективности. В качестве примера можно рассмотреть опыт небольшого шведского муниципалитета Линдесберг, население которого составляет около 23 тыс. чел. AssiDomän Cartonboard, предприятие по производству картона, поставляет избыточное тепло в местную сеть центрального теплоснабжения с 1998 г. Сеть эксплуатируется муниципальной энергетической компанией Linde Energi AB. Тепло, поставляемое компанией, обеспечивает более 90% потребностей муниципальной системы теплоснабжения. Тепло передается в Линдесберг по трубопроводу длиной 17 км, состоящему из трубы горячей воды и возвратной трубы.

Предприятие стремится к снижению своего воздействия на окружающую среду, а также объемов потребляемых ресурсов и энергии. Повышение эффективности производства за последние десятилетия привело к тому, что на предприятии стал образовываться избыток горячей воды с температурой 75°C. Перед поставкой в муниципальную систему теплоснабжения вода дополнительно подогревается за счет тепла дымовых газов (см. рис. 7.16).

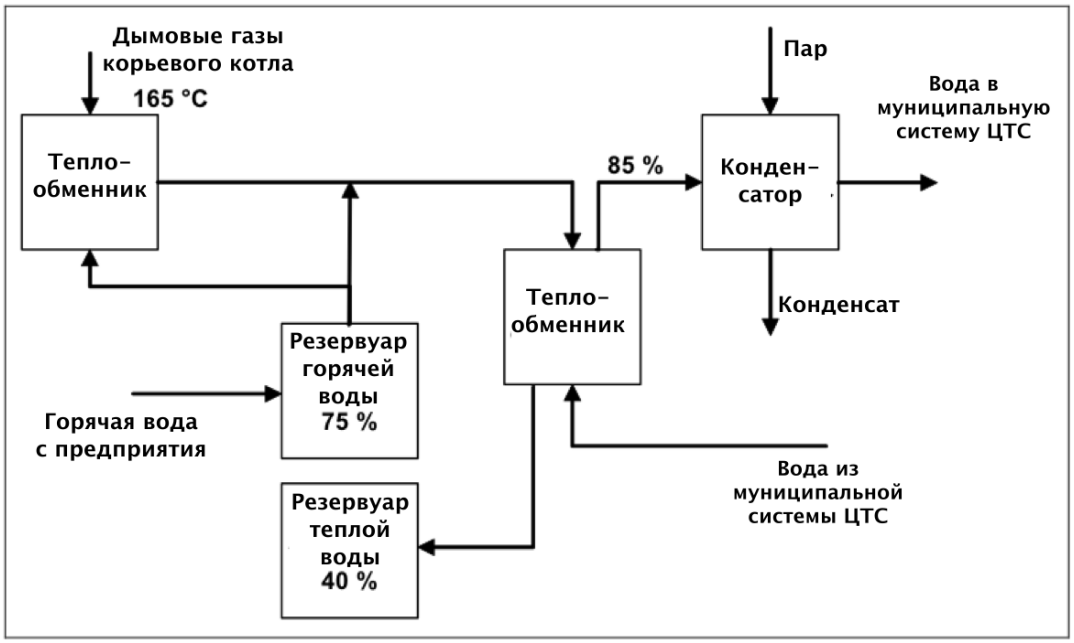


Рисунок 7.16: Взаимодействие системы утилизации тепла предприятия с муниципальной системой теплоснабжения

[20, Åsbland, 2005]

Такая система позволяет использовать вторичное тепло, утилизируемое на предприятии. Кроме того, утилизируется и энергия дымовых газов, которая в противном случае рассеивалась бы в окружающей среде. Как правило, поставки тепла для нужд муниципального теплоснабжения не

требуют от предприятия дополнительных затрат ископаемого топлива. Однако в периоды пиковых нагрузок предприятие задействует конденсатор пара, и использование пара приводит к потреблению дополнительного топлива (главным образом, биотоплива, например, древесной коры).

Экологические преимущества (прежде всего, в области повышения энергоэффективности)

До начала поставок тепла с картонной фабрики потребности муниципальной системы теплоснабжения удовлетворялись на 65 % за счет ископаемого топлива (мазута и сжиженного нефтяного газа), а остальные 35% обеспечивались тепловым насосом с электроприводом, использовавшим в качестве источника тепла подземные воды. В настоящее время более 90% тепла, используемого в муниципальной системе, поступает с предприятия. Муниципальная компания Linde Energi AB использует собственные котлы, работающие на мазуте, лишь в наиболее холодные периоды, составляющие в среднем около 2 недель в году. Тепловой насос выведен из эксплуатации.

По сравнению с периодом до начала сотрудничества с AssiDomän, потребление ископаемого топлива для нужд муниципального теплоснабжения сократилось на 4200 т СНГ и 200 $м^3$ мазута в год. Более того, потребление электроэнергии сократилось на 11 тыс. МВт-ч/год вследствие прекращения эксплуатации теплового насоса.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Помимо очевидных эффектов – снижение потребления ископаемого топлива и электроэнергии – прекращение эксплуатации теплового насоса способствовало сокращению выбросов озоноразрушающих веществ в атмосферу.

Производственная информация

Данных не предоставлено.

Применимость

Подобные формы сотрудничества не ограничены взаимодействием между промышленными и муниципальными органами. Значительный потенциал для интеграции использования энергоресурсов, не ограниченной пределами отдельных предприятий, существует в условиях промышленных парков. Фактически, это было одной из идей, положенной в основу концепции экопромышленных парков.

Экономические аспекты

Общий объем инвестиций, необходимых для реализации схемы, составил 15 млн. евро. Компания Linde Energi AB получила от шведского правительства грант в размере 2,3 млн. евро (15% общего объема инвестиций).

Мотивы внедрения

Движущей силой внедрения схемы использования тепла были как экономические, так и экологические соображения предприятия и муниципальной компании. Реализация проекта позволила сторонам решить актуальные проблемы, поскольку избыток тепла стал представлять проблему для предприятия (риск теплового загрязнения), а муниципальная компания столкнулась с необходимостью модернизации теплового насоса вследствие обязательных требований о прекращении использования озоноразрушающих теплоносителей.

Примеры

- Södra Cell Värö, Верберг;
- НПЗ компании Shell, Гётеборг;
- Swedish Steel, Бурленге;
- SCA, Сундсвалл.

Справочная информация:

[20, Åsblad, 2005]

7.10.3. Когенерация

Пример когенерации с использованием двигателей внутреннего сгорания: Bindewald Kupfermühle

- мукомольное производство: 100 тыс. т/год пшеничной и ржаной муки;
- производство солода: 35 тыс. т/год.

На предприятии действует когенерационная установка на основе стационарного ДВС, производящая 12 млн. кВт·ч электроэнергии и и около 26 млн. кВт·ч тепловой энергии в год и обеспечивающая экономию энергии топлива в размере 12,5 млн. кВт·ч/год по сравнению с раздельным производством указанного количества энергоресурсов.

Технические данные:

- мощность потребления топлива: 2 · 2143 $кВт_{топ}$ (природный газ);
- электрическая мощность: 2 · 700 $кВт_{э}$;
- тепловая мощность: 2 · 1200 $кВт_{т}$;
- производство электроэнергии: около 10.2 млн. $кВт·ч_{э}$/год;
- производство тепла: около 17,5 млн. $кВт·ч_{т}$/год;
- время работы (в пересчете на полную загрузку): 7286 ч/год;
- отношение производства электроэнергии к производству тепла: 0.58.

Эксплуатационные данные:

- начало эксплуатации: декабрь 1991 г.;
- уровни КПД:
  - КПД производства электроэнергии: 33 %;
  - КПД производства тепла: 56%;
  - КПД использования топлива: 89 %;
- потребность в техническом обслуживании:
  - каждую тысячу часов – ограниченное ТО;
  - каждые 10 тыс. часов – углубленное ТО;
  - коэффициент готовности: около 90 %;
- финансовые показатели:
  - капитальные затраты: 1,2 млн. евро (включая периферийное оборудование);
  - период окупаемости:
    - статический: 5 лет;
    - динамический: 7 лет;
- экологические результаты:
  - экономия топлива: 12 тыс. $МВт-ч_{топ}$/год;
  - сокращение выбросов CO_2: 2500 т/год.

Справочная информация

[64, Linde, 2005]

7.10.4. Тригенерация

Пример: Аэропорт Барахас, Мадрид, Испания

Аэропорт Барахас характеризуется огромными потребностями как в тепле, так и в холоде, поскольку общая площадь помещений нового терминала составляет 760 тыс. м² (76 га). Было решено интегрировать производство этих энергоресурсов с собственными генерирующими мощностями аэропорта для обеспечения максимального общего КПД использования топлива. Поскольку соображения надежности в любом случае требуют наличия у аэропорта собственных генерирующих мощностей, варианту постоянно действующей станции базовой нагрузки было

отдано предпочтение перед резервными генераторами, которые простаивали бы большую часть времени, не внося вклада в окупаемость инвестиций.

Основным приоритетом было создание экономически эффективной когенерационной станции, основанной на современных инженерных решениях, с низким уровнем воздействия на окружающую среду и чрезвычайно высоким уровнем надежности, необходимым для ключевого элемента инфраструктуры крупного международного аэропорта.

Основу решения составили шесть двухтопливных агрегатов Wärtsilä 18V32DF, использующих природный газ в качестве основного топлива и легкий мазут – в качестве резервного. Однако в силу местных экологических требований время работы на мазуте ограничено уровнем 200 ч/год.

Тригенерационная станция способна поставлять элекроэнергию как во внутреннюю сеть аэропорта, так и в национальную электрическую сеть; общая электрическая мощность станци составляет 33 МВт. Станция производит электроэнергию на постоянной основе; кроме того, зимой она обеспечивает помещения нового терминала необходимым теплом, а летом – холодом. Технические характеристики станции представлены в табл. 7.15.

Характеристика	**Значение/данные**	**Единицы измерения**
Электрическая мощность	33,0	$МВт_э$
Отношение производства тепловой и электрической энергии при работе на газе	8497/42,4%	$кДж/кВт \cdot ч_э$
Тепловая мощность нетто	24,6	$МВт_т$
Общая тепловая мощность	30,9	$МВт_т$
Контур утилизации тепла	Вода 120/80	°C
Общий КПД	74 %	
Мощность абсорбционных чиллеров	18,0	$МВт_х$
Общая мощность чиллеров	37,4	$МВт_х$
Контур холодной воды	6,5/13,5	°C
Основное топливо	Природный газ	
Резервное топливо	Легкий мазут	
Резервный/высокотемпературный холод	Радиаторы	
Низкотемпературный холод и холод для чиллеров	Градирни	

Таблица 7.15: Технические характеристики тригенерационной станции аэропорта Барахас

В здании станции установлены шесть одноступенчатых абсорбционных чиллеров. Охлажденная вода поставляется потребителям в зданиях нового терминала при помощи специальной системы трубопроводов. Источником энергии для абсорбционных чиллеров на бромиде лития является контур утилизации тепла с температурой 120°C; для охлаждения используются градирни.

Тригенерационная станция аэропорта располагает котлом, работающим на мазуте, в качестве резервного/пикового источника тепла, а также компрессорами с электроприводом в качестве резервного/пикового источника холода.

Предполагается, что станция будет продавать избыточную электроэнергию национальной сети и будет постоянно подключена к ней. Система производства и распределения электроэнергии отличается высоким уровнем резервирования, поскольку она должна обеспечивать бесперебойное электроснабжение аэропорта при любых возможных сбоях. В случае перебоев в газоснабжении станция будет способна обеспечить необходимую мощность в полном объеме, используя запасы мазута.

Справочная информация

[64, Linde, 2005]

7.11. Мероприятия на стороне потребителя

Общая характеристика

Как правило, данная категория включает мероприятия по управлению энергопотреблением. При этом важно четко различать мероприятия по энергосбережению и деятельность по оптимизации затрат на энергию, не приводящую к снижению общего энергопотребления.

В большинстве государств ЕС (и многих других странах) существует сложная система тарифов на электроэнергию, учитывающая максимальную потребляемую мощность, время потребления и другие факторы, например, готовность потребителя согласиться с установлением предельного уровня мощности, которая может быть получена из сети. В зависимости от величины и времени пикового потребления потребитель может столкнуться с необходимостью оплачивать часть энергии по максимальному тарифу и/или со штрафами или санкциями, налагаемыми в соответствии с договором. Управление временным графиком энергопотребления является необходимостью, а сглаживание или сдвиг энергопотребления могут приводить к снижению затрат. Однако подобные мероприятия не обязательно приводят к снижению общего количества потребленной энергии и, как следствие, к повышению физической энергоэфффективности.

Для устранения пиков потребления или управления ими могут использоваться, например, следующие методы:

- перевод соединений со звезды на треугольник при низких нагрузках, использование автоматических переключателей со звезды на треугольник, устройств плавного запуска и т.п. для оборудования со значительным уровнем энергопотребления, например, для мощных двигателей;
- использование систем управления, позволяющих разнести во времени одновременный запуск различного оборудования, например, в начале смены (см. раздел 2.15.2);
- изменение времени суток, в которое осуществляется процесс, вызывающий резкое увеличение энергопотребления.

Экологические преимущества

Данных не предоставлено.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Может не приводить к уменьшению общего энергопотребления.

Производственная информация

Резкие пики энергопотребления могут возникать, например:

- при запуске оборудования с высоким уровнем энергопотребления, например, мощных электродвигателей;
- в начале смены, когда одновременно запускается целый ряд устройств и систем (например, насосы, обогреватели и т.п.);
- при осуществлении процессов с высоким уровнем энергопотребления (например, термической обработки), в особенности, если подобные процессы не используются постоянно.

Резкие пики могут также приводить к потерям энергии за счет искажения правильной синусоидальной формы фаз (см. информацию о высших гармониках в разделе 3.5.2).

Применимость

Заслуживает рассмотрения в условиях любых установок. Управление может быть ручным (например, изменение времени осуществления энергоемкого процесса), использовать простые средства автоматизированного управления (например, таймеры) или более сложные системы автоматизированного управления технологическими процессами или энергоресурсами (см. раздел 2.15.2).

Экономические аспекты

Излишнее потребление электроэнергии и резкие пики потребления приводят к увеличению затрат.

Мотивы внедрения

Снижение затрат.

Примеры

Широко применяется.

Справочная информация

http://members.rediff/seetech/Motors.htm

[183, Bovankovich, 2007]

http://www.mrotoday.com/mro/archives/exclusives/EnergyManagement.htm

7.12. Энергосервисные компании

Общая характеристика

В дебатах по вопросам энергетической политики нередко возникает тема неиспользуемого потенциала энергосбережения. При этом отмечается, что основной причиной, по которой этот потенциал остается нереализованным, являются не столько экономические ограничения, сколько структурные факторы и недостаток информации об этом потенциале и путях его реализации у потребителей энергии. Реализации этого потенциала могут способствовать, в частности, компании, оказывающие энергетические услуги или энергосервисные компании, привлекаемые на условиях «договора об обеспечении энергоэффективности» (energy performance contracting, EPC). Следует, однако, отметить, что существуют и другие типы организаций и схемы стимулирования, также способные внести вклад в выявление и реализацию возможностей энергосбережения.

Энергосервисная компания выявляет и оценивает возможности энергосбережения для заказчика, а затем на этой основе предлагает пакет мер, который может быть профинансирован за счет экономического эффекта от осуществления этих мер. При этом компания гарантирует, что в средне- или долгосрочной перспективе (например, в течение 7–10 лет) экономический эффект от мероприятий по энергосбережению окупит или превысит ежегодные затраты на осуществление этих мероприятий. Если энергосбережение не окупает затрат, разница покрывается за счет энергосервисной компании.

Важность энергосервисных компаний и оказываемых ими энергетических услуг подчеркивается в Директиве ЕС об эффективности конечного использования энергии и энергетических услугах от 5 апреля 2006 г. (2006/32/EC), которая определяет понятие энергетической услуги следующим образом:

«Энергетическая услуга представляет собой физическое благо, ресурс или продукт, полученный за счет сочетания энергии с энергоэффективными технологиями и/или деятельностью, которая может включать эксплуатацию, техническое обслуживание и управление, необходимое для оказания услуги, оказываемой на основании контракта, причем доказано, что в нормальных условиях результатом услуги является верифицируемое и измеримое или оцениваемое повышение энергоэффективности и/или сбережение первичной энергии».

Например, энергосервисная компания может обеспечивать клиента, в зависимости от его потребностей, следующими видами энергоресурсов:

- тепло (отопление зданий, пар, тепло для технологических процессов, горячая вода);
- холод (охлажденная вода, централизованное холодоснабжение);
- электроэнергия (например, произведенная на когенерационных станциях или с использованием солнечной энергии);
- воздух (сжатый воздух, вентиляция, кондиционирование воздуха).

Экологические преимущества

Энергосбережение. Конкретные объемы энергосбережения могут быть зафиксированы в договоре в качестве обязательств энергосервисной компании.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Энергосервисная компания может выполнять по поручению клиента следующие задачи (в порядке их возникновения на протяжении проектного цикла):

- выявление потенциала энергосбережения;
- анализ осуществимости или технико-экономическое обоснование предлагаемых мероприятий;
- разработка плана конкретных действий и подписание соглашения, фиксирующего объемы энергосбережения, которые должны быть достигнуты;
- подготовка проекта к реализации;
- управление процессом строительства и ввод построенных объектов или установленного оборудования в эксплуатацию;
- оценка фактически достигнутых результатов в области повышения энергоэффективности и снижения воздействия на окружающую среду.

Применимость

Широко применяется в США на протяжении последних 10–20 лет. Получает все более широкое распространение в ЕС.

Экономические аспекты

Основным положением договора об обеспечении энергоэффективности (EPC), заключаемого между предприятием и энергосервисной компанией является обязательство последней по достижению согласованного снижения воздействия на окружающую среду и оговоренных экономических параметров проекта. Конкретные обязательства формулируются при подготове договора и могут включать, в частности, следующие положения:

- гарантированное сокращение ежегодных затрат предприятия на энергопотребление по сравнению с существующим положением;
- гарантированная окупаемость инвестиций за счет будущего сокращения затрат на энергопотребление и других ресурсов (включая, в частности, продажу высвободившихся квот на выбросы и «белых сертификатов», снижение затрат на техническое обслуживание и т.п.);
- гарантированный уровень сокращения выбросов;
- гарантированный уровень сокращения потребления первичного топлива;
- гарантированное достижение других целевых показателей, согласованных предприятием и энергосервисной компанией.

Мотивы внедрения

Мотивом внедрения может быть успешное решение следующих задач в результате привлечения энергосервисной компании:

- приобретение необходимых знаний, квалификации и опыта в области решения остальных задач, перечисленных ниже (см. раздел 2.6);
- выбор методологии и корректное проведение энергоаудита;
- выработка концепции улучшения на основе более широкого круга вариантов, а также выполнение технико-экономического обоснования;
- выбор оптимальных вариантов повышения энергоэффективности, учитывающих предполагаемые направления будущего развития предприятия;

- выбор оптимальных методов энергосбережения и технологических процессов;
- обеспечение необходимого финансирования для внедрения энергосберегающих технологий и методов повышения энергоэффективности;
- выбор поставщиков конкретного оборудования;
- обеспечение корректной установки оборудования и внедрения технологий обеспечения энергоэффективности;
- достижение намеченных показателей энергоэффективности и экономического эффекта.

Пример

Замена неисправного компрессора в системе сжатого воздуха

Компания А использует сжатый воздух в процессе сушки продукции. Однако неисправность компрессора ограничивает производительность процесса сушки и ставит под угрозу выполнение обязательств компании перед заказчиками.

Компания А принимает решение временно установить на своем предприятии компрессор с аналогичными характеристиками, арендуемый у поставщика компрессоров или другой компании. После успешного ремонта собственного компрессора компании арендуемое устройство будет возвращено владельцу.

В табл. 7.16 представлены преимущества и недостатки аренды оборудования с точки зрения потребителя энергии.

Фактор	Преимущества	Уровень	Недостатки
Капитальные затраты	Низкие при краткосрочном использовании		Высокие при долгосрочном использовании
Требуемый уровень опыта организации			Относительно высокий
Требуемый уровень квалификации персонала			Относительно высокий
Затраты на ТО и ремонт			Относительно высокие
Зависимость от внешнего поставщика		Умеренная	
Затраты на координацию деятельности и обмен информацией с сервисной компанией		Умеренные	
Надежность энергоснабжения	Относительно высокая		
Область гарантий качества	Относительно широкая	Является ответственностью клиента	
Прозрачность затрат	Относительно высокая		
Срок договора	Короткий		
Стимулы для энергосбережения			Относительно незначительные

Таблица 7.16: Преимущества и недостатки временной аренды компрессорного оборудования

Справочная информация

[279, Czech_Republic, 2006, 280, UBA_DE, 2006]

http://www.esprojects.net/en/energyefficiency/financing/esco

http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/ESCO/index.htm

7.12.1. Делегирование управления технологическими объектами

В том случае, если клиент делегирует энергосервисной компании управление технологическими службами или объектами, сервисная компания принимает на себя ответственность за эксплуатацию, техническое обслуживание, а также оптимизацию эксплуатационных затрат соответствующего объекта.

Как правило, делегирование управления технологическим объектом специализированной компании обеспечивает повышение эффективности работы этого объекта; при этом объем требуемых инвестиций в большинстве случаев оказывается незначительным – например, речь может идти об установке дополнительного контрольно-измерительного оборудования. Объект остается в собственности компании-клиента – внешней компании делегируются лишь функции по его эксплуатации.

Клиент может либо оплачивать конкретные услуги сервисной компании, либо выплачивать фиксированную сумму за весь объем услуг. Если обе стороны разделяют материальную выгоду, получаемую в результате энергосбережения, это создает стимулы для эффективного и рационального использования энергии.

Делегирование управления чаще всего используется в тех случаях, когда предприятие нуждается в надежном и бесперебойном функционировании технологического объекта, но не располагает достаточным количеством специалистов с необходимой квалификацией.

В табл. 7.17 представлены преимущества и недостатки делегирования управления объектами сервисной компании с точки зрения потребителя энергии.

Фактор	Преимущества	Уровень	Недостатки
Капитальные затраты			Высокие
Требуемый уровень опыта организации	Низкий		
Требуемый уровень квалификации персонала	Низкий		
Затраты на ТО и ремонт	Низкие		
Зависимость от внешнего поставщика			Высокая
Затраты на координацию деятельности и обмен информацией с сервисной компанией		Умеренные	
Надежность энергоснабжения	Относительно высокая		
Область гарантий качества	Относительно широкая	Является ответственностью клиента	
Прозрачность затрат (только капитальных затрат, но не затрат на энергию и т.д.)	Относительно высокая		
Срок договора	Короткий		
Стимулы для энергосбережения			Относительно незначительные

Таблица 7.17: Преимущества и недостатки делегирования управления технологическим объектом сервисной компании

Пример

Финансирование когенерационной станции

Компания С (полиграфическое предприятие) планирует расширение производственных мощностей, требующее, в частности, строительства новой когенерационной станции. После того, как компания С принимает окончательное решение о строительстве станции, энергосервисная

компания получает финансирование и осуществляет проектирование и строительство объекта, а затем обеспечивает его эксплуатацию. Услуги сервисной компании по управлению когенерационной станцией оплачиваются клиентом в соответствии с договором.

7.12.2. Конечные энергетические услуги

В этом случае энергосервисная компания самостоятельно проектирует, финансирует, строит и эксплуатирует энергетическую установку в соответствии с договором, срок действия которого, как правило, составляет 5–20 лет. На протяжении этого периода установка остается собственностью сервисной компании. Клиент заключает с компанией договор об энергетических услугах, оказание которых подразумевает приобретение определенного объема определенного энергоресурса по согласованной цене. В рамках этой схемы клиент приобретает конечные энергетические услуги, не имея возможности влиять на финансирование, эксплуатацию и техническое обслуживание энергетической установки.

Затраты энергосервисной компании включаются в общую стоимость услуги, которая состоит из постоянного базового тарифа (например, ежемесячного) и переменной части, зависящей от объема потребленных ресурсов (например, *x* евро за кубометр горячей воды). Такая структура цены создает стимулы для рационального использования энергоресурсов потребителем.

Если клиент использует и распределительную сеть сервисной компании, этот факт должен быть учтен в договоре, где следует указать точку или точки передачи энергии потребителю. Если сервисная компания принимает непосредственную ответственность, например, за отопление помещений клиента, это создает стимулы для наиболее эффективного оказания этой услуги и, как следствие, для сокращения энергопотребления.

Эта модель оказания энергетических услуг хорошо подходит для новых зданий, оказание энергетических услуг для которых делегируются внешнему подрядчику, или для зданий, энергетические системы которых подлежат значительной модернизации, требующей замены оборудования (например, модернизации системы теплоснабжения, предусматривающей замену котлов). На практике в 90% случаев потребитель приобретает у энергосервисных компаний именно конечные энергетические услуги.

В табл. 7.17 представлены преимущества и недостатки приобретения конечных энергетических услуг у сервисной компании с точки зрения потребителя энергии.

Фактор	Преимущества	Уровень	Недостатки
Капитальные затраты	Низкие		
Требуемый уровень опыта организации	Низкий		
Требуемый уровень квалификации персонала	Низкий		
Затраты на ТО и ремонт	Низкие		
Зависимость от внешнего поставщика			Высокая
Затраты на координацию деятельности и обмен информацией с сервисной компанией		Умеренные	
Надежность энергоснабжения	Высокая		
Область гарантий качества	Высокая		
Прозрачность затрат	Относительно широкая		
Срок договора			Длительный
Стимулы для энергосбережения	Значительные		

Таблица 7.18: Преимущества и недостатки приобретения конечных энергетических услуг у сервисной компании

7.13. Сайт Европейской комиссии, посвященный вопросам энергоэффективности и Национальные планы действий государств-членов

Европейская комиссия поддерживает специализированный сайт по вопросам энергоэффективности, доступный по адресу:

http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/end_use_en.htm

Поскольку ситуация в данной области отличается динамизмом, любой перечень нормативных актов, стратегий, мероприятий, инструментов и инициатив быстро устаревает. Поэтому регулярно обновляемый сайт является полезным источником информации. На сайте доступны следующие разделы и категории информации:

Законодательство:

- Эффективность конечного использования энергии и энергетические услуги;
- Энергоэффективность зданий;
- Экологическое проектирование энергопотребляющей продукции;
- Энергетическая маркировка бытовой техники;
- Программа маркировки Energy Star;
- Когенерация (включая доклады государств-членов);
- Обсуждаемые проекты законодательных актов.

Национальные планы действий по повышению энергоэффективности

В сводной таблице, доступной на сайте, приведены ссылки на Национальные планы действий государств-членов и/или документы, связанные с их подготовкой. Материалы доступны на национальных языках государств и/или на английском языке (в некоторых случаях на английском языке доступно только резюме плана). По состоянию на март 2008 г. на сайте отсутствовали только документы Швеции.

Некоторые примеры действий, предусмотренных национальными планами, включают:

- льготное налогообложение инвестиций в энергосбережение;
- грантовое финансирование затрат предприятий на мероприятия по повышению энергоэффективности;
- поддержка демонстрационных проектов по внедрению передовых энергетических технологий;
- технико-экономические обоснования различных мероприятий;
- проведение энергетической диагностики;
- сертификаты, подтверждающие производство энергии в рамках схем когенерации (т.н. «голубые сертификаты»);
- принятие требований, согласно которым для получения любого экологического разрешения необходимо наличие оценки энергоэффективности или плана действий по повышению энергоэффективности;
- соглашения о сравнительном анализе, подразумевающие официальное обязательство предприятий о достижении определенного уровня результативности, подтверждаемого внешней стороной (например, энергоэффективность производства, соответствующая уровню лучших 10% мировых предприятий);
- соглашения об энергоаудите, в соответствии с которыми предприятия обязуются провести всесторонний энергоаудит и осуществить все предложенные меры, реализация которых целесообразна с экономической точки зрения;

- сертификаты, подтверждающие достигнутое энергосбережение («белые сертификаты»), см. в частности информацию об упоминаемом ниже проекте EuroWhiteCert;
- соглашения об энергосбережении.

Инициативы и проекты

На сайте, в частности, описан проект EuroWhiteCert и даны ссылки на актуальную информацию о нем.

Мероприятия

Информация об актуальных мероприятиях, например, в форме пресс-релизов.

Ссылки

Помимо ссылок на различные источники, описанные в настоящем приложении, сайт содержит, в частности, ссылки на материалы проекта EMEEES (проекта ЕС по оценке и мониторингу выполнения Директивы ЕС об эффективности конечного использования энергии и энергетических услугах).

Ссылка ‘What’s new’ («Что нового») обеспечивает доступ к недавно опубликованным документам (докладам, ответам на частые вопросы и т.д.), а также информации о мероприятиях (консультациях, совещаниях и т.д.).

Кнопка ‘Site Map’ («Карта сайта») позволяет получить доступ к:

- стратегическим документам;
- текстам нормативно-правовых документов;
- информации о добровольных инициативах, включая следующие программы:
    - European Motor Challenge;
    - GreenLight;
    - Green Building;
- информации по продвижению деятельности в области энергоэффективности и энергосбережения, включая:
    - базы данных по проектам;
    - публикации и буклеты проектов;
- информации о различных программах поддержки, включая:
    - рамочные программы исследований и технологического развития (RTD);
    - программу ’Intelligent Energy Europe’ и ранее осуществлявшиеся программы поддержки;
- материалам по межгосударственному сотрудничеству в сфере энергоэффективности.

Дальнейшая информация может быть запрошена по адресу электронной почты: EnergyServices@ec.europa.eu

7.14. Европейская схема торговли квотами (ETS)

Опираясь на новаторские механизмы, введенные Киотским протоколом к Рамочной конвенции ООН об изменении климата – Совместное осуществление, Механизм чистого развития и международную торговлю квотами – ЕС сформировал крупнейшую в мире систему торговли квотами на выбросы диоксида углерода (CO_2), ориентированную на компании. Тем самым ЕС стал мировым лидером в развитии этого нового рынка.

В основе Европейской схемы торговли квотами (ETS) лежит признание того, что придание сокращению выбросов денежного выражения при помощи создания ликвидного рынка квот способно создать условия для оптимального с экономической точки зрения выполнения государствами-членами своих обязательств в рамках Киотского протокола, а также продвижению

к низкоуглеродной экономике будущего. Предполагается, что создание схемы позволит снизить ежегодные затраты на выполнение киотских обязательств стран ЕС до уровня 2,9–3,7 млрд. евро, что не превышает 0,1% общего ВВП стран ЕС. В отсутствие схемы затраты на выполнение обязательств могли бы достичь 6,8 млрд. евро/год.

Европейская схема торговли квотами учреждена обязательными нормативными актами, предложенными Европейской комиссией и одобренными всеми государствами-членами, а также Европейским парламентом. В основе схемы лежат шесть базовых принципов:

- система предусматривает введение обязательных квот (предельных уровней выбросов парниковых газов для предприятий), а также возможность передачи неиспользованных квот от одного предприятия к другому;
- на начальном этапе приоритетом является сокращение выбросов крупных промышленных предприятий-загрязнителей;
- схема внедряется поэтапно, периодически проводится оценка результатов и рассматриваются возможности для распространения схемы на другие парниковые газы и сектора;
- планы распределения квот формируются на периодической основе;
- схема предусматривает действенную систему для обеспечения выполнения требований;
- схема ориентирована на торговлю квотами в рамках ЕС, однако учитывает и вклад в сокращение выбросов в третьих странах с использованием Механизма чистого развития (МЧР) и проектов совместного осуществления. Кроме того, схема допускает взаимодействие с аналогичными схемами торговли в других странах (например, в России и развивающихся странах).

Схема предусматривает общеевропейскую систему рыночной торговли стандартным товаром – квотами (разрешениями) на выбросы парниковых газов. Стандартная единица, торгуемая в системе, представляет собой право на выбросы в размере одной тонны CO_2. Государства-члены принимают решения о распределении квот между предприятиями, согласуемые на уровне ЕС. Принятые решения обнародуются. Создание схемы будет способствовать развитию бизнеса ЕС следующими способами:

- вследствие введения обязательного мониторинга и учета выбросов CO_2 компании впервые сформируют «углеродные бюджеты» и системы менеджмента выбросов парниковых газов;
- придание рыночной цены разрешениям на выбросы CO_2 побудит компании задействовать потенциал своих специалистов для выявления и создания экономически эффективных методов снижения выбросов, как за счет усовершенствования существующих технологических процессов, так и посредством создания новых;
- в результате создания рынка квот в ЕС формируется новый сектор бизнеса, включающий углеродных трейдеров и специалистов по углеродному финансированию, а также компании, обеспечивающие аудит и верификацию выбросов парниковых газов. В настоящее время на рынок выводятся новые финансовые продукты и схемы, например, углеродные фонды.

Область действия схемы

Хотя потенциально торговля квотами может охватывать многие отрасли экономики и все парниковые газы, подпадающие под действие Киотского протокола (CO_2, CH_4, N_2O, ГФУ, ПФУ и SF_6), было решено, что на первом этапе, предусматривающем накопление начального опыта функционирования системы, область действия Европейской схемы будет ограничена.

Поэтому на первом этапе (2005–2007 гг.) действие схемы распространялось только на выбросы CO_2 крупных предприятий-загрязнителей в электро- и теплоэнергетике, а также в ряде других энергоемких отраслей промышленности, включая нефтепереработку, производство кокса, черную металлургию, цементную, стекольную и целлюлозно-бумажную промышленность, а также производство кирпича и керамики. Для каждой отрасли установлен порог мощности предприятия

или фактического объема производства, определяющий размер предприятий, участвующих в схеме.

Несмотря на эти ограничения, под действие схемы подпадает более 12 тыс. установок в 27 государствах – членах ЕС, на которые приходится около 45% всех выбросов CO_2 и около 30% всех выбросов парниковых газов в странах ЕС.

Как работает схема торговли квотами

Рассмотрим в качестве примера две компании, А и В, каждая из которых ежегодно выбрасывает 100 тыс. т CO_2. Согласно планам распределения квот, утвержденным правительствами соответствующих стран, каждая компания получает квоту в размере 95 тыс. т/год. В результате каждая компания оказывается перед необходимостью скомпенсировать разрыв между фактическими выбросами и квотой, составляющий 5000 единиц. Каждая компания может добиться этого, сокращая свои выбросы на 5 тыс. т, приобретая на рынке 5 тыс. единиц квот или сочетая два этих подхода в той или иной пропорции. Стремясь принять оптимальное решение, компании сравнивают затраты, связанные с различными вариантами.

Рыночная цена квот в настоящее время составляет 10 евро за единицу (право выбросить тонну CO_2). Компания А, согласно собственным расчетам, способна обеспечить сокращение выбросов с удельными затратами 5 евро/т и отдает предпочтение этому варианту, как менее затратному по сравнению с приобретением квот на рынке. Более того, планируя мероприятия по сокращению выбросов, компания А принимает решение использовать эту возможность для снижения объема выбросов не на 5 тыс., а на 10 тыс. т. Это позволит компании легко обеспечивать соответствие требованиям при дальнейшем сокращении квот в будущем.

Компания В находится в другом положении – ее удельные затраты на снижение выбросов составляют 15 евро/т. Поскольку эта величина превышает текущую рыночную цену квот, компания выбирает вариант, более эффективный с экономической точки зрения, и решает приобрести недостающие квоты на рынке.

В результате компания А затрачивает 50 тыс. евро на сокращение выбросов на 10 тыс. т при удельных затратах 5 евро/т. Затем компания продает на рынке 5 тыс. единиц квот, представляющих снижение выбросов сверх установленного уровня, по цене 10 евро/т и получает 50 тыс. евро. Это позволяет компании полностью окупить свои затраты на сокращение выбросов, тогда как в отсутствие торговли квотами общие затраты компании составили бы 25 тыс. евро (в предположении, что она ограничилась бы требуемым сокращением на 5 тыс. т).

Затраты компании В, приобретающей 5 тыс. единиц выбросов, составляют 50 тыс. евро. В отсутствие гибкости, предоставляемой схемой торговли квотами, компания должна была бы сократить собственные выбросы на 5 тыс. т, затратив на это 75 тыс. евро.

Таким образом, в этом примере торговля квотами обеспечивает общее снижение затрат двух компаний на 50 тыс. евро. Поскольку компания А выбирает вариант дополнительного сокращения выбросов (который является экономически эффективным благодаря системе торговли квотами), единицы квот, приобретаемые компанией В, представляют фактическое сокращение выбросов, несмотря на то, что эта компания не снижала уровня собственных выбросов.

Справочная информация

EU Emissions trading: An Open Scheme Promoting Global Innovation to Combat Climate Change 2004, ISBN 92-894-8326-1. Доступно по адресу:

http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/emission_trading3_en.pdf

7.15. Оптимизация транспортных систем

На транспорт приходится существенная доля энергопотребления компаний в некоторых отраслях. Энергопотребление транспорта может быть снижено за счет эффективного управления соответствующими аспектами в рамках общей системы менеджмента компании.

На предприятии могут действовать разнообразные внутренние системы транспортировки и транспортные средства, включая трубопроводы, системы пневматической транспортировки

сыпучих веществ, конвейеры, подъемники и т.д. Однако при подготовке настоящего документа составителям не были предоставлены данные по таким системам.

Выбор транспортных средств, оптимальных с точки зрения экологической результативности, зависит от типа перевозимой продукции. Широкое распространение получил автомобильный транспорт, однако при перевозке сыпучих и жидких материалов часто применяется железнодорожный и водный транспорт, а жидкости и газы могут транспортироваться по трубопроводам.

7.15.1. Энергоаудит транспортных систем

Оптимизация работы собственных транспортных систем позволяет компании улучшить логистику, а также снизить транспортные затраты, энергопотребление и выбросы диоксида углерода. Процедура энергоаудита транспортных систем является инструментом выявления возможностей для повышения энергоэффективности, а также определения мероприятий для реализации этого потенциала.

Энергоаудит транспортных систем направлен на:

- сокращение затрат;
- сокращение энергопотребления и выбросов CO_2.

Энергоаудит охватывает следующие области:

- все транспортные средства, которые используются или могут быть использованы компанией;
- различные аспекты логистики, включая:
    - упаковку, значимость которой в данном контексте связана с тем, что ее изменение может привести к более эффективному использованию транспорта за счет более полной его загрузки и, как следствие, к сокращению количества перевозок;
    - погрузка-разгрузка и хранение;
    - грузоподъемность, размер и другие особенности используемых транспортных средств;
- водительский персонал.

Результаты энергоаудита могут включать:

- сокращение затрат за счет повышения эффективности использования транспорта и энергосбережения;
- определение приоритетных направлений развития и порядка действий по каждому из направлений;
- распространение информации о передовых практических подходах и методах энергосбережения среди персонала транспортных систем.

Соответствующие примеры приведены в разделах 7.15.2 и 7.15.3.

[272, Finland, 2007].

7.15.2. Менеджмент энергоэффективности автомобильного транспорта

Общая характеристика метода повышения энергоэффективности

Действенное управление энергоэффективностью транспортных систем, обеспечение долгосрочного сокращения расхода топлива, установление целевых показателей, а также мониторинг выполнения намеченных мероприятий и оценка результатов требуют сбора и анализа данных.

Важным элементом программы, направленной на обеспечение эффективности использования топлива, являются следующие четыре шага:

- организация системы сбора данных;
- обеспечение точности и достоверности собираемых данных;
- очистка и стандартизация данных;
- анализ и интерпретация данных.

Существуют следующие основные варианты сбора данных об использовании топлива:

- сбор данных вручную с последующим занесением в электронную таблицу или базу данных;
- автоматизированный сбор данных от топливных насосов на заправочной стации с загрузкой в электронную таблицу или базу данных;
- использование топливных карт в сочетании с непосредственным анализом данных в системе, поддерживающей применение карт, или выгрузкой данных из системы в электронную таблицу или базу данных;
- мониторинг количества топлива, потребляемого двигателем, при помощи бортовой аппаратуры. Многие современные автомобили, имеющие электронную систему управления двигателем, могут быть оснащены дополнительной системой для сбора такой информации;
- установка расходомера для топлива, подключенного к специализированному бортовому компьютеру, фиксирующему информацию о потреблении топлива.

В сочетании с адекватными методами доступа к данным, а также программным обеспечением два последних варианта в списке позволяют собирать данные об особенностях расхода топлива для отдельных автомобилей или водителей. Кроме того, эти методы позволяют получать информацию о количестве топлива, непосредственного поступившего в двигатель, а не отпущенного из резервуара на заправочной станции. Однако этим подходам присущи и некоторые ограничения – они не позволяют отслеживать баланс объемов топлива на уровне резервуаров и заправочных станций. Так, с их помощью невозможно сопоставить количество топлива, полученное от поставщика, с количеством, использованным для заправки автомобилей.

Кроме того, такой подход является весьма затратным, поскольку вместо одной общей системы мониторинга расхода топлива такая система фактически устанавливается на каждом автомобиле. Поэтому целесообразным может оказаться использование бортовых измерительных систем на отдельных автомобилях в качестве дополнения к системе учета отпуска топлива на заправочной станции, а не в качестве замены такой системы.

Важно сохранять исходные данные (т.е. расход топлива и пробег) во избежание ошибок при последующих расчетах. Иными словами, при расчете среднего расхода топлива за любой период следует использовать общий пробег и расход топлива за этот период, а не средние значения за меньшие периоды, даже если такие значения были рассчитаны ранее.

На расход топлива влияют следующие основные факторы:

- характеристики самого автомобиля: несомненно, они являются одним из важнейших факторов, определяющих расход топлива (к этим характеристикам относятся, в частности, производитель и модель, спецификации автомобиля, его возраст и состояние, особенности эксплуатации, используемое оборудование и материалы, например, смазочные, аэродинамические свойства и т.д.);
- качество вождения: считается, что оно является фактором, в наибольшей степени влияющим на расход топлива. Работа с водителями, которая начинается с этапа подбора и найма персонала, затем продолжает осуществляться по таким направлениям, как обучение, поддержание мотивации и вовлечение в деятельность по повышению энергоэффективности;

- перевозимый груз: важным фактором в этом контексте является общий вес автомобиля с грузом, который может меняться в ходе поездки по мере доставки грузов различным получателям;
- оптимизация размера, формы и размещения в кузове тары с перевозимыми грузами;
- погодные условия: их влияние следует учитывать, сравнивая данные о расходе топлива, собранные в различных условиях. Особенно большое влияние могут оказывать такие явления, как сильный ветер, дождь, снег, гололед и т.д.;
- тип дороги: на узких извилистых дорогах расход топлива выше, чем на прямых автострадах с хорошим покрытием. Медленная езда по извилистой дороге в холмистой местности приводит к значительному увеличению расхода топлива даже у самых эффективных автомобилей;
- характеристики топлива. Два основных свойства топлива, значимые в данном контексте – теплота сгорания (зависящая от плотности топлива) и легкость воспламенения.

Мониторинг

Можно выделить пять основных элементов мониторинга эффективности использования топлива:

1. Регулярное измерение расхода топлива: как правило, это подразумевает ведение регулярных (например, еженедельных) записей о расходе топлива каждого автомобиля.

2. Соотнесение затрат с полезным результатом: как правило, для этой цели используется отношение пробега автомобиля к расходу топлива (выражаемое, например, в км/л), но этот показатель может уточняться при помощи поправочных коэффициентов, вводимых для учета различных факторов. Другие используемые показатели включают, например, расход топлива на тонно-километр (т.е. расход топлива на перевозку одной тонны полезного груза на расстояние, равное одному километру).

3. Определение существующего уровня результативности: анализ данных по расходу топлива для автомобилей одного типа, осуществляющих перевозки сходного типа, за период времени, обеспечивающий репрезентативность результата. В итоге получается примерный уровень расхода топлива для каждого типа автомобилей. Следует отметить, что эта величина не является уровнем «эффективного» потребления, но отражает существующее положение дел.

4. Доведение данных до сведения ответственных лиц: данные по расходу топлива должны регулярно доводиться до сведения лиц, способных тем или иным образом повлиять на эффективность использования топлива. Как правило, к таким лицам относятся водители, инженеры, а также менеджеры среднего и высшего звена.

5. Принятие мер по сокращению расхода топлива: нередко систематический анализ использования топлива сам по себе приводит к возникновению идей по снижению его расхода. Сопоставление уровней расхода топлива для различных автомобилей с большой вероятностью выявит значительные различия и даже, возможно, некоторые аномалии. Исследование причин этих различий и аномалий способно пролить свет на то, какие подходы к эксплуатации приводят к высокому или низкому расходу топлива. Это, в свою очередь, позволит выделить наилучшие практические подходы, заслуживающие распространения, и неэффективные методы эксплуатации, которые должны быть исключены.

Подобное совершенствование практики эксплуатации и технического обслуживания автомобилей во многих случаях ведет к снижению расхода топлива даже без принятия каких-либо технических мер.

Историческая информация по расходу топлива чрезвычайно полезна при планировании, реализации и оценке мер по энергосбережению. Исходные данные о расходах топлива для каждого автомобиля, а также записи о техническом обслуживании должны храниться на протяжении всего срока его службы.

Отчетность

Для целей обеспечения эффективности использования топлива полезны следующие типичные отчеты:

- баланс объемов топлива на уровне заправочных станций/резервуаров;
- расход топлива по отдельным автомобилям и волдителям;
- сообщения об исключительных ситуациях.

Для целей анализа данные по автомобилям могут группироваться по различным характеристикам последних, например:

- одиночный грузовой автомобиль/тягач с полуприцепом;
- полная масса автомобиля с грузом;
- производитель/модель;
- возраст;
- характер использования.

Данные по водителям также могут группироваться, например, по сменам, типу работы и уровню обучения. Данные могут приводиться по неделям, месяцам или годам.

Полезным является сравнение полученных данных с:

- целевыми показателями;
- данными по предыдущим периодам для анализа тенденций;
- аналогичным периодом прошлого года;
- другими автохозяйствами, с учетом региональных различий и различий в характере деятельности;
- данными по аналогичным автомобилям;
- отраслевыми средними и ориентирами (например, результатами испытаний и опубликованными таблицами).

Полученные данные могут использоваться, как минимум, следующими категориями лиц:

- высшим руководством (краткий обзор, сводки и сообщения об исключительных ситуациях);
- руководством транспортных подразделений (инициативы по снижению расхода топлива, изучение ситуации, индивидуальная оценка работы водителей);
- лицами, ответственными за подготовку учебных программ и обучение водителей (планирование учебной программы, направленной на сокращение расхода топлива; обсуждения с водителями призванные побудить их к самостоятельному отслеживанию качества их работы);
- инженерно-техническим персоналом (мониторинг и анализ данных по расходу топлива).

Существует множество аспектов использования топлива, которые могут быть положены в основу показателей результативности и целевых показателей (определения задач). Простейшими в применении являются показатели, оценка которых не связана со сложностями и слабо зависит от разнообразных внешних факторов. Так, потери топлива между получением от поставщика и заправкой автомобилей могут быть легко оценены на основе баланса объемов. Соответствующие данные могут фиксироваться на еженедельной основе, и может быть введено требование об обязательном проведении расследования в случае потерь, превышающих заданный уровень, и устранении причин этих потерь.

Более сложные меры могут приниматься на основе данных по расходу топлива для конкретных автомобилей. Простейший подход состоит в том, чтобы оценить существующий уровень расхода топлива и поставить задачу его снижения на определенную величину. Однако этот метод, основанный на фактически достигнутых показателях, не учитывает того, какой уровень эффективности является достижимым в принципе.

Если маршруты, загрузка автомобилей и другие параметры являются в значительной степени постоянными, можно задать стандартные уровни расхода топлива для конкретных маршрутов, используя данные лучшего водителя в качестве целевых показателей для всех остальных водителей. Очевидно, однако, что такой подход не учитывает сезонных и других внешних факторов, вследствие чего его применение требует тщательной интерпретации данных.

Более сложный подход состоит в использовании такого показателя, как энергоемкость перевозок. Для грузового транспорта эта величина определяется как отношение затрат топлива к произведению массы перевезенных грузов и прогона. Как правило, эта величина измеряется в литрах на тонно-километр.

Экологические преимущества

Сокращение расхода топлива непосредственно связано со снижением воздействия на окружающую среду, поскольку оно ведет к снижению выбросов парниковых газов и других вредных веществ.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О воздействиях не сообщается.

Производственная информация

Стиль вождения, обеспечивающий эффективное использование топлива, отличается также более высоким уровнем безопасности и меньшими нагрузками на трансмиссию, тормоза и покрышки. Поэтому переход к такому стилю может также привести к снижению затрат, связанных с ДТП, техническим обслуживанием, ремонтом и простоями.

Некоторые операторы даже демонстрируют достигнутое снижение расхода топлива в качестве результата экологической деятельности.

Условием результативной программы по повышению эффективности использования топлива является интенсивный обмен информацией между водителями и руководством. Хорошая организация этого процесса может привести к дополнительным положительным результатам, поскольку в процессе взаимодействия может быть достигнут более высокий уровень взаимопонимания и устранены некоторые барьеры. Некоторые организации используют вопросы эффективного использования топлива в качестве отправной точки для изменения культуры водителей.

Применимость

Данный подход может применяться в организациях, располагающих парком грузовых автомобилей.

Экономические аспекты

Рост цен на сырую нефть в сочетании с увеличением акцизов означает, что доля топлива в эксплуатационных затратах быстро увеличивается. Как следствие, любые инвестиции в повышение эффективности использования топлива, осуществляемые в настоящее время, могут принести еще большую отдачу в будущем.

Сокращение расхода топлива с неизбежностью требует затрат времени, усилий или финансовых ресурсов, причем во многих случаях необходимы все три составляющие. Количественная оценка некоторых финансовых затрат, например, на приобретение измерительного оборудования или более эффективных автомобилей, не представляет сложности. Однако существуют и скрытые затраты, например, рабочее время руководства, административного или инженерно-технического персонала, оценка которых представляет собой более сложную задачу.

Мотивы внедрения

Снижение затрат. Не все мероприятия по энергосбережению являются одинаково эффективными с экономической точки зрения, и в различных условиях оптимальными могут быть различные подходы. В любом случае, деятельность по сокращению расхода топлива должна носить систематический характер, не сводясь к принятию отдельных мер без должного анализа ситуации. Целесообразно включить деятельность по энергосбережению на транспорте в общую систему/структуру менеджмента энергоэффективности.

7.15.3. Улучшение упаковки с целью оптимизации использования транспорта

Пример

- компания: VICO SA, г. Вик-сюр-Эн (Франция);
- деятельность: производство картофельных чипсов и других продуктов на основе картофеля;
- объем производства: 32 тыс. т/год;
- объем продаж: 114,4 млн. евро/год.

Для доставки продукции в 2500 французских точек продаж компании требовалось 9000 рейсов грузового автотранспорта в год. Упакованная продукция укладывалась на паллеты так, что высота паллеты с продукций составляла 1,8 м. В стандартный грузовик с высотой кузова 2,8 м загружалось 38 таких паллет, уложенных в один уровень. Таким образом, степень заполнения кузова составляла всего 70%. По результатам исследования ситуации упаковка была изменена таким образом, чтобы высота паллеты с грузом составляла 1,4 м, что позволило загружать паллеты в два уровня. В результате количество рейсов было сокращено на 10%, а общий прогон – на 20 %:

- необходимые инвестиции: 76224 евро;
- период окупаемости: 1,5 мес.;
- испытательный период: 3 мес.;
- исходное потребление топлива: 686030 л/год дизельного топлива;
- потребления топлива после изменения упаковки: 536875 л/год дизельного топлива;
- сокращение потребления топлива на 22%;
- сокращение затрат компании на транспорт (компания пользуется услугами внешних перевозчиков): 610 тыс. евро/год.

Справочная информация

ADEME guide on good energy practices in industry (ref 3745)

[94, ADEME, 2005] [103, Best practice programme, 1996]

7.16. Европейский топливный баланс

Электроэнергия

Средние по ЕС (25 стран) затраты топлива и выбросы при производстве 1 ГДж электроэнергии составляют:

Электроэнергия	**ГДж**	**1**			
Первичная энергия	**ГДж**	**#2,6**			
Нефть	**кг**	**9,01**		**Европейский топливный баланс ***	
Газ	**м³**	**6,92**		Нефть	4,1 %
Уголь	**кг**	**15,7**		Газ	19,0 %
Бурый уголь	**кг**	**34,6**		Каменный уголь	13,1 %
				Сырой бурый уголь	23,8 %
SO_2	**кг**	**0,10**		*Всего уголь*	*36,9 %*
CO_2	**кг**	***147**		Атомная	30,9 %
NO_2	**кг**	**0,16**			

Расчеты IFEU		**Мазут**	**Эл-во от сжигания нефте-прод.**	**Природ-ный газ**	**Эл-во от сжигания газа**	**Каменный уголь**	**Эл-во от сжигания угля**	**Бурый уголь**	**Эл-во от сжигания бурого угля**	**Атомная энергия**
Электро-энергия	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00	1,00E+00
Первичная энергия	ГДж	3,69E+00		2,90E+00		2,38E+00		2,82E+00	3,35E+00	
Нефть	кг	9,22E+01	7,88E+01							4,19E-01
Газ	м³			7,14E+01	5,33E+01					3,74E-01
Уголь	кг					8,48E+01	8,19E+01			3,03E+00
Бурый уголь	кг							3,19E+02	3,12E+02	
SO_2	кг	6,44E-02	2,43E-01	3,24E-03	2,88E-03	5,05E-02	1,48E-01	3,73E-03	2,22E-01	3,22E-02
CO_2	кг	1,26E+01	2,47E+02	1,46E+01	1,32E+02	1,06E+01	2,17E+02	7,84E+00	3,16E+02	6,27E+00
NO_2	кг	3,46E-02	3,68E-01	7,79E-02	1,51E-01	4,11E-02	1,10E-01	6,30E-03	6,14E-01	1,43E-02
Усредненные данные по выбросам при производстве электроэнергии получены из базы данных ECOINVENT 1994 # Данные пересмотренной Рамочной директивы по отходам * данные МЭА для 25 стран ЕС										

Таблица 7.19. Средние объемы выбросов при производстве электроэнергии

Пар

Средние по ЕС затраты топлива и выбросы при производстве пара с содержанием энергии 1 ГДж составляют:

Пар	**ГДж**	**1**			
Первичная энергия	**ГДж**	**1,32**			
Нефть	**кг**	**12,96**		**Европейский топливный баланс** (оценка)	
Газ	**м^3**	**10,46**		Нефть	40,0 %
Уголь	**кг**	**14,22**		Газ	30,0 %
				Каменный уголь	30,0 %
SO_2	**кг**	**0,54**			
CO_2	**кг**	**97,20**			
NO_2	**кг**	**0,18**			

		Мазут	**Тепло от нефтепрод.**	**Природный газ**	**Тепло от газа**	**Кам. уголь**	**Тепло от угля**
Тепло	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00
Первичная энергия	ГДЖ	1,29E+00		1,41E+00		1,28E+00	
Нефть	кг	3,24E+01	2,75E+01				
Газ	м^3			3,49E+01	2,81E+01		
Уголь	кг					4,74E+01	4,14E+01
SO_2	кг	4,01E-02	9,95E-01	1,61E-02	5,75E-04	4,76E-02	3,70E-01
CO_2	кг	6,51E+00	9,22E+01	7,16E+00	6,48E+01	5,82E+00	1,15E+02
NO_2	кг	1,77E-02	1,78E-01	3,47E-02	4,47E-02	3,77E-02	2,17E-01
ECOINVENT		**Мазут**	**Тепло от нефтепрод.**	**Природный газ**	**Тепло от газа**	**Кам. уголь**	**Тепло от угля**
Тепло	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00
Первичная энергия	ГДж	1,22E+00		1,43E+00		1,36E+00	
Нефть	кг	3,06E+01	2,60E+01				
Газ	м^3			3,53E+01	3,00E+01		
Уголь	кг					5,21E+01	4,17E+01
SO_2	кг	1,59E-02	1,41E+00	3,06E-02	6,47E-04	6,98E-02	6,29E-01
CO_2	кг	4,24E-01	9,16E+01	7,29E+00	6,47E+01	6,36E+00	1,16E+02
NO_2	кг	8,24E-04	1,88E-01	3,18E-02	2,35E-02	5,50E-02	2,50E-01
GEMIS		**Мазут**	**Тепло от нефтепрод.**	**Природный газ**	**Тепло от газа**	**Кам. уголь**	**Тепло от угля**
Тепло	ГДж		1,00E+00		1,00E+00		1,00E+00
Первичная энергия	ГДж	1,35E+00		1,39E+00		1,20E+00	
Нефть	кг	3,42E+01	2,89E+01				
Газ	м^3			3,44E+01	2,63E+01		
Уголь	кг					4,27E+01	4,12E+01
SO_2	кг	6,44E-02	5,78E-01	1,52E-03	5,03E-04	2,54E-02	1,11E-01
CO_2	кг	1,26E+01	9,27E+01	7,02E+00	6,49E+01	5,28E+00	1,13E+02
NO_2	кг	3,46E-02	1,69E-01	3,76E-02	6,59E-02	2,05E-02	1,83E-01
Приводимые данные про выбросам получены как средние по базам данных ECOINVENT GEMIS для 25 стран ЕС							

Таблица 7.20. Средние объемы выбросов при производстве пара

7.17. Коррекция коэффициента мощности при электроснабжении

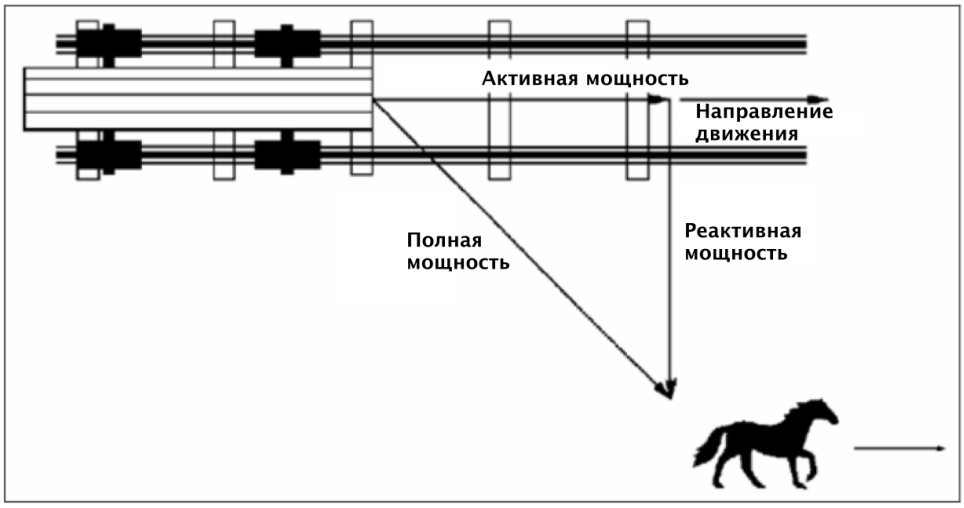


Рисунок 7.17: Иллюстрация соотношения активной и реактивной мощности

[123, US_DOE]

В качестве наглядной иллюстрации понятий коэффициента мощности и реактивной мощности можно представить лошадь, тянущую вагонетку по рельсам. Поскольку шпалы расположены неравномерно, или расстояние между ними не соответствует шагу лошади, она вынуждена идти параллельно рельсовому пути в стороне от него. Поэтому лошадь прикладывает усилие к вагонетке под углом к направлению движения. Усилие, необходимое для движения вагонетки по рельсам, соответствует активной мощности. Общее усилие, развиваемое лошадью, соответствует полной мощности. Поскольку лошадь тянет вагонетку под углом, ее усилие используется для движения вагонетки не полностью. Вагонетка может двигаться только вдоль рельсов, поэтому составляющая усилия лошади, перпендикулярная рельсам, (аналог реактивной мощности) является непроизводительной и не вызывает движения вагонетки.

Угол, под которым лошадь тянет вагонетку, непосредственно связан с коэффициентом мощности, который определяется как отношение активной мощности к полной. Если лошадь движется близко к центру рельсового пути, угол уменьшается, и величина активной мощности приближается к величине полной. Этому соответствует ситуация, когда коэффициент мощности приближается к 1. Величина реактивной мощности при этом приближается к нулю.

Источник:

US DOE: Motor challenge programme, Fact sheet: Reducing Power Factor Cost

http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/mc60405.pdf