ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ
ГЕНЕРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
Институт по исследованию перспективных технологий
Отдел конкурентоспособности и устойчивого развития
Европейского бюро по комплексному предотвращению
и контролю загрязнений окружающей среды

Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям

Производство цемента, Извести и оксида магния

2009 года

Гармонизация Экологических Стандартов II
Harmonisation of Environmental Standards II
www.ippc-russia.org
Финансируется ЕС
Funded by the EU
Implemented by gtz

Неофициальный перевод документа на русский язык осуществлен Проектом «Гармонизация экологических стандартов ГЭС II, Россия» в рамках Программы сотрудничества ЕС - Россия по согласованию с Европейской Комиссией. Ответственность за перевод лежит на Проекте «Гармонизация экологических стандартов ГЭС II, Россия»

www.ippc-russia.org

С оригиналом этого документа на английском языке можно ознакомиться:

Институт по исследованию перспективных технологий,
Отдел конкурентоспособности и устойчивого развития,
Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды

Edificio Expo, Inca Garcilaso, s/n, E – 41092 Seville, Spain,
Telephone: +34 95 4488 284, Fax: +34 95 4488 426,
E-mail: jrc-ipts-eippcb@ec.europa.eu,
Internet: http://eippcb.jrc.es

Данный документ является одним из серии документов, перечисленных ниже, подлежащих пересмотру:

Название справочного документа	**Код**
Крупные сжигающие установки (теплоэлектростанции)	LCP
Нефте – и газоперерабатывающие заводы	REF
Производство чугуна и стали	I&S
Обработка черных металлов	FMP
Производство и обработка цветных металлов	NFM
Кузнечное дело и литейное производство	SF
Обработка поверхности металлов и пластика (электрохимические покрытия)	STM
Производство цемента, извести и оксида магния	CLM
Стекольное производство	GLS
Керамическое производство	CER
Крупнотоннажное производство органических химических веществ	LVOC
Тонкий органический синтез	OFC
Полимеры	POL
Производство хлора и щелочей	CAK
Крупнотоннажное производство аммиака, неорганических кислот и удобрений	LVIC-AAF
Крупнотоннажное производство твердых неорганических веществ (солей, оксидов) и др.	LVIC-S
Специальные неорганические вещества (средства защиты растений, фармацевтические средства, взрывчатые вещества и др.)	SIC
Очистка производственных сточных вод и отходящих газов и системы менеджмента в химической промышленности	CWW
Переработка отходов (предприятия по переработке отходов)	WT
Сжигание отходов	WI
Управление отходами и пустыми породами горнорудной 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 животноводство	ILF
Обработка поверхностей органическими растворителями	STS
Системы охлаждения (промышленные)	CV
Выбросы и сбросы (вредных веществ) при хранении сыпучих и опасных материалов	ESV
Общие принципы мониторинга	MON
Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды	ECM
Энергоэффективность (эффективное использование энергии)	ENE

Электронные версии черновых и финальных документов доступны для общественности и могут быть загружены с сайта: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu

КРАТКОЕ РЕЗЮМЕ

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям (НДТ) «Производство цемента, извести и оксида магния» отражает информационный обмен, выполняемый в соответствии со статьей 17(2) Директивы ЕС 2008/1/ЕС (КПКЗ Directive). Краткое резюме описывает основные решения, содержит обобщение принципиальных выводов по НДТ и соответствующим уровням потребления и выбросов. Этот документ должен рассматриваться совместно с предисловием, которое разъясняет содержание документа, как его использовать и содержащиеся в нём термины. Краткое резюме можно рассматривать как самостоятельный документ, однако, являясь всего лишь кратким резюме, он не содержит всех подробностей полного документа. Следовательно, он не может рассматриваться как замена полного документа как инструмент в принятии решений по НДТ.

ОБЪЕКТЫ НАСТОЯЩЕГО ДОКУМЕНТА

Настоящий документ охватывает область промышленной деятельности, приведенной в разделе 3.1 Приложения 1 Директории 2008/1/ЕС, а именно:

«3.1. Установки для производства цементного клинкера во вращающихся печах производительностью более 500 тонн в сутки или извести во вращающихся печах производительностью более 50 тонн в сутки или других печах производительностью более 50 тонн в сутки».

Дополнительно к производству цемента и извести настоящий документ охватывает производство оксида магния по сухому способу.

Настоящий документ содержит три главы: по производству цемента, по производству извести и по производству оксида магния по сухому способу на основе природного магнезита (карбоната магния $MgCO_3$). Каждая из этих глав содержит семь разделов в соответствии с руководством для написания Справочного Документа. В дополнение к основным процессам упомянутых выше производств настоящий документ охватывает сопутствующие виды деятельности: от приготовления сырьевых материалов до отгрузки конечных продуктов. Некоторые процессы производства, например такие, как добыча на карьере, шахтные печи для производства клинкера не рассматриваются, так как они напрямую не связаны с основными производственными процессами.

ЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Основные вопросы, связанные с воздействием на окружающую среду

Цемент является основным материалом, используемым для строительства и возведения зданий и сооружений. Производство цемента в странах ЕС достигло в 2006 году 267,5 миллиона тонн, что составляет примерно 10,5 % мирового производства цемента.

В 2008 году в странах ЕС существовало 268 предприятий, выпускающих портландцементный клинкер и цемент, эксплуатирующих 377 вращающихся печей. Дополнительно имелось 90 помольных установок (цементных мельниц) и два завода по производству портландцементного клинкера без отделения помола цемента. Типичная производительность вращающейся печи составила 3000 т клинкера в сутки.

Процесс обжига портландцементного клинкера является наиболее важной частью процесса производства цемента, связанной с вопросами окружающей среды, а именно с использованием энергии и выбросами в атмосферу. В зависимости от используемых про-

цессов производства, цементный завод осуществляет выбросы в воздух и в почву (как отходы). В исключительных случаях выбросы могут оказаться и в воде. В дополнение на окружающую среду могут воздействовать шум и неприятные запахи. Ключевыми загрязнителями, попадающими в атмосферу, являются пыль, оксиды азота и оксиды серы. Также выделяются оксиды углерода, полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны, общий углерод, содержащийся в органических соединениях, металлы, хлористый и фтористый водород. Типы и количество загрязнителей воздуха, отходов и сточных вод зависят от различных факторов, например от вида используемых сырьевых материалов и топлива, типа применяемого процесса.

Среднее потребление сырьевых материалов для получения 1 тонны клинкера на предприятиях стран ЕС составляет 1,52 тонны. Наибольший унос в процессе производства происходит в результате улетучивания диоксида углерода в воздух вследствие реакции декарбонизации ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$).

Применяемые процессы и технологии

После добычи, измельчения и гомогенизации сырьевых материалов первым этапом производства цемента является кальцинация карбоната кальция путем обжига, в результате чего оксид кальция совместно с оксидами кремния, алюминия и железа при высокой температуре образует портландцементный клинкер. Клинкер затем измельчается совместно с гипсом и другими составляющими с получением цемента. Природные кальцийсодержащие месторождения известняка, мергеля или мела являются источником карбоната кальция. Кремнезем, оксиды железа и алюминия находятся в различных рудах и минералах. В качестве частичной замены природных сырьевых материалов также применяются различные промышленные отходы.

Цементная промышленность является энергоемкой отраслью промышленности, в которой доля расходов на электроэнергию составляет 30 – 40 % от стоимости производства конечного продукта. Тепловая энергия для осуществления процесса обжига обеспечивается путем использования природного топлива или различных топливосодержащих отходов. В 2006 году самими распространенными видами топлива являлись нефтяной кек, различные типы отходов, уголь, лигниты и другие твердые виды топлива, мазут и природный газ.

В основном характеристика процесса обжига клинкера сама по себе такова, что позволяет использовать отходы в качестве сырьевых материалов и/или топлива. Обжиг клинкера осуществляется во вращающейся печи, которая является частью печной системы, включающей длинную печь мокрого или сухого способа производства, полумокрую или полусухую печную систему с конвейерным кальцинатором (Леполь), печь сухого способа с многостадийным циклонным теплообменником и декарбонизатором. В 2008 году в странах ЕС около 90 % всего объема выпускаемого цемента произведено по сухому способу, 7,5 % – по полусухому и полумокрому способу и оставшаяся часть – около 2,5 % – по мокрому способу. Ожидается, что в странах ЕС печи мокрого способа производства в результате модернизации и обновления будут переведены на сухой, полусухой и полумокрый способы производства.

ИЗВЕСТКОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Основные вопросы, связанные с воздействием на окружающую среду

Известь широко используется в различных производствах, например в качестве флюса при очистке стали, в качестве вяжущего в строительстве, для осаждения примесей в процессах водоочистки. Известь также широко используется для нейтрализации кислотных

компонентов в промышленных стоках и газовых выбросах. В 2004 году рынок производства извести в странах ЕС составил почти 25 миллионов тонн, а общее производство извести составило 28 миллионов тонн, включая известь, выпускаемую предприятиями для собственных нужд, что составляет 20 % от общего мирового выпуска извести.

В 2003 году в странах ЕС существовало примерно 211 установок по производству извести (исключая установки по выпуску предприятиями извести для собственных нужд), а в 2006 году эксплуатировалось уже 597 печей, выпускающих коммерческую известь, из которых 551 печь (или около 90 %) представляли собой шахтные печи. Типичная мощность шахтной печи колеблется от 50 до 500 тонн в сутки. При производстве извести расходуется 1,4 – 2,2 тонны известняка на тонну негашеной извести. Расход известняка зависит от типа продукта, чистоты известняка, степени кальцинации и количества отходов производства. В материальном балансе производства самые большие потери связаны с выбросами диоксида углерода в воздух.

Известковая промышленность является энергоемкой отраслью промышленности с потреблением энергии до 60 % от расходов на производство. Печи используют газообразное топливо (природный газ), твердое топливо (уголь, кокс/антрацит) и жидкое топливо (тяжелое/легкое нефтяное топливо). Кроме того, в качестве топлива используются различные топливосодержащие отходы, например отходы нефтепереработки, полимеры, бумага, костяная мука, древесные опилки.

Основными факторами, воздействующими на окружающую среду при производстве извести, являются загрязнение атмосферы и использование энергии. Процесс обжига извести является главным источником выбросов и основным потребителем энергии. Вторичные процессы гашения извести и измельчения могут быть также значимыми. В зависимости от специфики производственного процесса известковые заводы дают выбросы в воздух, в воду и в почву (как отходы). Дополнительно на окружающую среду воздействуют шум и неприятные запахи. Основным загрязнителем воздуха является пыль, оксиды азота, диоксид серы и оксид углерода. Количество выбросов полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов, углерода органических соединений, металлов, хлорида и фторид водорода зависит от используемых сырьевых материалов и топлива.

Применяемые процессы и технологии

Термин “известь” включает негашеную известь и гашеную известь и используется как синоним для обозначения готовой продукции. Негашеная известь или обожженная известь – это оксид кальция (CaO). Гашеная известь состоит главным образом из гидроксида кальция (Ca(OH)2) и включает гидратную известь (сухой порошок гидроксида кальция), известковое молоко и известковое тесто (дисперсия частиц гидроксида кальция в воде).

Процесс производства извести состоит из обжига карбонатов кальция и магния с высвобождением диоксида углерода и получением свободного оксида кальция ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$). Оксид кальция из печи дробится, размалывается и /или подвергается просеиванию (грохочению) перед отправкой в силос для хранения. Из силоса обожженная известь поставляется потребителю для использования в виде негашеной извести или транспортируется на завод по её гидратации, где она взаимодействует с водой с образованием гашеной извести.

ПРОИЗВОДСТВО ОКСИДА МАГНИЯ (СУХОЙ СПОСОБ)

Основные вопросы, связанные с воздействием на окружающую среду

Оксид магния (MgO/магнезит) является важным промышленным продуктом и используется главным образом при производстве стали и огнеупоров, а также во многих других от-

раслях промышленности. С использованием сухого способа производятся различные типы оксида магния, такие как намертво обожженный магнезит, каустический кальцинированный магнезит и плавленый магнезит.

Мировое производство MgO при использовании сухого способа составляло около 12,5 миллионов тонн в 2003 году. В 27 странах Европейского Сообщества в 2003 году было произведено около 2.3 миллиона тонн MgO, что составляет 18.4 % от всего мирового производства. В 2008 году в 27 странах ЕС было только 9 производителей оксида магния (сухой способ), использующих 14 заводов. Число печей в пересчете на один завод было от одной до трех кроме одного производителя, который эксплуатировал 8 печей на одном заводе.

Производство оксида магния MgO и особенно намертво обожженного магнезита является энергоемким процессом, поскольку они выпускаются при высокой температуре. Потребность в энергии для производства MgO находится на уровне от 6 до 12 ГДж/т MgO и обусловлена различными факторами. В 2008 году в качестве топлива использовали природный газ, нефтяной кек и нефтяное топливо.

Основными выбросами в окружающую среду, связанными с производством оксида магния, являются воздушные загрязнители и использование энергии. Процесс сжигания является главным источником выбросов и также потребителем энергии. В зависимости от специфики производственного процесса, заводы производят выбросы в воздух, воду и на землю (как отходы). Дополнительно на окружающую среду могут воздействовать шум и неприятные запахи. Ключевым загрязнителем, выбрасываемым в воздух, являются пыль, оксиды азота, диоксид серы и оксиды углерода (CO и CO_2).

Применяемые процессы и технологии

Сырой магнезит добывается, дробится или размалывается и просеивается до подачи в обжиг. Более 98 % добытого магнезита используется в производстве различных магнезиальных продуктов. Химическая реакция разложения магнезита является эндотермической и зависит от высокой температуры обжига. Необходимо несколько процессов обжига и обжиговых стадий для того, чтобы выпустить различные типы оксида магния: намертво обожженный оксид магния, каустический кальцинированный магнезит и плавленый магнезит. Используются несколько типов печей: многотопочные печи, шахтные печи или вращающиеся обжиговые печи. Для производства плавленого оксида магния применяются специальные электродуговые печи.

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЦЕМЕНТА, ИЗВЕСТИ И ОКСИДА МАГНИЯ

Технологии, рассматриваемые при определении НДТ

Важнейшими критериями выполнения Директивы в производстве цемента, извести и оксида магния является снижение выбросов в воздух, эффективность применения энергии и сырьевых материалов, минимизация, сбор и повторное использование производственных потерь/отходов, а также эффективные системы охраны окружающей среды и использования энергии.

Вышеприведенные критерии относятся к различным технологиям, интегрированным в технологический процесс, и законченным технологическим процессам, используемым в цементной промышленности, при производстве извести или в отрасли по выпуску оксида магния. Технологии, включенные в настоящий документ, позволяют потенциально достигнуть или содействовать высокому уровню защиты окружающей среды. В этом контексте для цементной промышленности представлены около 36 технологий, способствую-

щих защите окружающей среды (раздел 1.4), для известковой промышленности – около 24 технологий (раздел 2.4) и для производства оксида магния по сухому способу – около 16 технологий (раздел 3.4).

Наилучшие доступные технологии

Разделы НДТ (разделы 1.5, 2.5 и 3.5) устанавливают те технологии, которые являются наилучшими доступными технологиями для промышленности по производству цемента, извести и оксида магния в общем смысле, базирующиеся на информации разделов 1.4, 2.4, 3.4, принимая во внимание определение наилучших доступных технологий (ст. 2 (12) Директивы КПКЗ) и соображения, перечисленные в Приложении IV к Директиве КПКЗ. Настоящие разделы НДТ также предлагают уровни потребления и выбросов, связанные с использованием НДТ. Как описано в Предисловии, НДТ не предлагают ограничительные показатели по выбросам. Для установок, охватываемых Директивой, определять лимиты и величины выбросов при разрешении производственной деятельности на основе НДТ является прерогативой органов власти.

Следует отметить, что в данном кратком резюме заключения по НДТ настоящего документа представлены как обобщения. Чтобы прочитать полное заключение по НДТ, см. разделы 1.5, 2.5 и 3.5 настоящего документа. Кроме того, следует отметить, что при совместном производстве и сжигании отходов, должны быть приняты во внимание требования Директивы по сжиганию отходов [59].

Краткое резюме НДТ для цементной промышленности	
Системы экологического менеджмента (СЭМ) (НДТ 1 в разделе 1.5.1)	• реализация и выполнение определенных требований СЭМ, которые включают, в соответствии с теми или иными местными особенностями, основные положения, перечисленые в НДТ 1 , в разделе 1.5.1.
Основные первичные технические решения (НДТ 2, 3, 4 в разделе 1.5.2)	• достижение ровного и стабильного процесса обжига в печи в соответствии с установленными параметрами, что является полезным с точки зрения всех выбросов из печи, а также потребления энергии путем применения следующих технических решений, перечисленных в НДТ 2 a – b, в разделе 1.5.2; • осуществление тщательного отбора и контроля всех веществ, поступающих в печь, чтобы предотвратить и/или снизить количество выбросов (НДТ 3, раздел 1.5.2); • это выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов, как указано в НДТ 4 a – e, в разделе 1.5.2
Выбор процесса (НДТ 5 в разделе 1.5.3.1)	• для новых и полностью реконструируемых заводов – применение печей сухого способа с многостадийным теплообменником и декарбонизатором. При регулярных и оптимизированных условиях эксплуатации в соответствии с НДТ расход тепла на обжиг находится в пределах 2900 – 3300 МДж/тонну клинкера (НДТ 5 в разделе 1.5.3.1)

Потребление энергии (НДТ 6, 7, 8, 9 в разделе 1.5.3.2)	• снижение/минимизация расхода тепла путем применения объединенных технических решений как перечислено в НДТ 6 a – f в разделе 1.5.3.2; • снижение потребления тепловой энергии путем снижения содержания клинкера в цементе (НДТ 7 в разделе 1.5.3.2); • снижение потребления тепловой энергии путем выработки дополнительного количества энергии или тепла путем объединения заводов с теплоэлектростанциями или теплоцентралями, по возможности, на базе полезной потребности тепла, в пределах схем регулирования энергии, которые экономически устойчивы (НДТ 8 в разделе 1.5.3.2); • минимальное потребление электроэнергии путем применения отдельно или совместно технических решений, как перечислено в НДТ 9 a – b в разделе 1.5.3.2.
Контроль качества отходов (НДТ 10 a – c, в разделе 1.5.4.1)	• применение системы обеспечения качества, чтобы гарантировать характеристики отходов и анализ любых отходов, которые могут быть использованы как сырьевой материал и/или топливо в цементной печи по параметрам/критериям, перечисленным в НДТ 10 a в разделе 1.5.4.1; • контроль достаточного количества необходимых параметров для любых отходов, используемых как сырьевой материал и/или топливо цементной печи, позволяющих оценить их качество, таких, как содержание хлора, некоторых металлов (например кадмий, ртуть, таллий), серы, общего содержания галогенов (НДТ 10 b в разделе 1.5.4.1); • применение системы обеспечения качества для каждого подаваемого в технологический процесс отхода (НДТ 10 c в разделе 1.5.4.1).
Отходы, подаваемые в печь (НДТ 11 a – f, в разделе 1.5.4.3.2)	• использование соответствующих точек питания печи с целью обеспечения определенной температуры и времени пребывания материала в данной зоне, зависящих от конструкции и работы печи (НДТ 11 a, в разделе 1.5.4.2); • подача отходов, содержащих органические компоненты, которые могут улетучиваться, до зоны кальцинирования в зону с необходимой (адекватной) температурой (НДТ 11 b, в разделе 1.5.4.2); • управление работой печи таким образом, чтобы газы от сжигания отходов находились в контролируемом, гомогенизированном виде даже при наиболее неблагоприятных условиях при температуре 850 ^{o}C не менее 2 секунд (НДТ 11 c, в разделе 1.5.4.2); • увеличение температуры до 1100 ^{o}C, если сжигаются опасные отходы с содержанием более 1% галогенсодержащих органических веществ (выраженные в виде хлора) (НДТ 11 d, в разделе 1.5.4.2); • обеспечение постоянной и стабильной подачи отходов в печь (НДТ 11 e, в разделе 1.5.4.2); • прекращение сжигания отходов при режиме розжига и охлаждения (пуска и остановки) печи, когда необходимая температура и время пребывания материала в пе-

	чи не могут быть обеспечены, как отмечается в НДТ 11 a – d, (НДТ 11 f, в разделе 1.5.4.2).
Меры безопасности при использовании вредных отходов (НДТ 12, в разделе 1.5.4.3)	• применение мер безопасности при операциях с вредными отходами, например, при их складировании и/или подаче в печь (см. раздел 1.4.3.3), а также использование мер предосторожности в соответствии с источником и типом отходов при ручных операциях, связанных с прикрепление этикеток, проверкой, отбором проб и испытанием отходов (НДТ 12, в разделе 1.5.4.3)
Неорганизованные выбросы пыли (НДТ 13, в разделе 1.5.5.1)	• минимизация/предотвращение неорганизованных выбросов пыли путем применения отдельно или совместно технических решений, как перечислено в НДТ 13 a – b, в разделе 1.5.5.1 (технические решения по операциям, связанным с неорганизованными выбросами пыли и технические решения при навальном складировании материалов).
Организованные выбросы пыли (НДТ 14 в разделе 1.5.5.1)	• применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров. Принимая во внимание указанную систему, НДТ позволяет снизить выбросы пыли из сосредоточенных источников до величины менее 10 мг/нм^3 как средний показатель за время отбора проб путем применения сухой очистки газа. Данная величина выбросов должна применяться прежде всего к малым (< 10000 нм^3/ч) источникам выбросов.
Выбросы пыли из печи для обжига клинкера (НДТ15 в разделе 1.5.5.3)	• снижение выбросов пыли из отходящих из печи газов путем применения сухой очистки газа с помощью фильтра. В случае применения НДТ среднесуточная величина выбросов составляет < 10 – 20 мг/нм^3. При применении рукавных фильтров, новых или модернизированных электрофильтров могут быть достигнуты более низкие величины выбросов пыли.
Выбросы пыли при охлаждении и помоле (НДТ 16, раздел 1.5.5.4)	• снижение выбросов пыли из газов при охлаждении клинкера и помоле материалов путем применения сухой очистки газа с помощью фильтра. В случае применения НДТ среднесуточная величина выбросов (точечный отбор через каждые полчаса), составляет < 10 – 20 мг/нм^3. При применении рукавных фильтров, новых или модернизированных электрофильтров может быть достигнута ещё более низкая величина выбросов пыли.
Выбросы NO_x (НДТ 17, 18 в разделе 1.5.6.1)	• снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно технических решений, которые перечислены в НДТ 17 a – d, в разделе 1.5.6.1, индивидуально или в сочетании (т.е. первичные технические решения, постадийное сжигание обычного топлива или топливных отходов в сочетании с декарбонизатором и использование оптимизированной топливной смеси, применение технологий SNCR, SCR при условии разработки подходящего катализатора и развития процесса в цементной промышленности. В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов NO_x (НДТ 17 , в разделе 1.5.6.1): Тип печи | Ед. измерения | Среднесуточная величина выбро-

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td></td><td></td><td>сов</td></tr>
<tr><td>Печи с циклонным теплообменником</td><td>мг/нм^3</td><td>< 200 – 450 [2) 3)]</td></tr>
<tr><td>Печи Леполь и длинные вращающиеся печи</td><td>мг/нм^3</td><td>400 – 800 [1)]</td></tr>
<tr><td colspan="3">[1)] зависит от начального уровня и проскока аммиака
[2)] связанные с НДТ уровни выбросов – это 500 мг/нм^3, после использования первичных технических решений выбросы NO_x > 1000 мг/нм^3
[3)] конструкция печи, свойства топливной смеси, включающей отходы, спекаемость сырьевой смеси влияют на диапазон выбросов. Ниже 350 мг/нм^3 достигается на печи с благоприятными условиями. Более низкая величина 200 мг/нм^3 сообщалась только тремя заводами (использовалась легко спекаемая смесь).</td></tr>
</table>
• применение технологии SNCR (НДТ 18 в разделе 1.5.6.1):
– применение методов/технологий, которые перечислены в НДТ 18 a – b, в разделе 1.5.6.1;
– удерживание выбросов и проскоков NH_3 в отходящих газах на минимально возможном уровне, но ниже 30 мг/нм^3 (среднесуточная величина). Должна учитываться корреляция между эффективностью снижения выбросов NO_x и появлением следов аммиака. В зависимости от начального уровня NO_x и эффективности снижения NO_x проскоки аммиака могут быть выше 50 мг/нм^3. Для печи Леполь и длинных вращающихся печей указанный уровень может быть даже выше (НДТ 18 c, в разделе 1.5.6.1).
</td></tr>
<tr><td>Выбросы SO_x (НДТ 19, 20 в разделе 1.5.6.2)</td><td>
• поддерживать выбросы SO_x на низком уровне или снижать выбросы SO_x из отходящих газов из печи и/или из теплообменника/декарбонизатора путем применения одного из технических решений, перечисленных в НДТ 19 a (добавка адсорбента) и b (мокрый скруббер) в разделе 1.5.6.2. В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов SO_x (НДТ 19, в разделе 1.5.6.2):
<table>
<tr><td>Параметр</td><td>Размерность</td><td>Среднесуточная величина</td></tr>
<tr><td>SO_x, выраженное как SO_2</td><td>мг/нм^3</td><td>< 50 – < 400</td></tr>
<tr><td colspan="3">[1)] интервал принимается с учетом содержания серы в сырьевых материалах</td></tr>
</table>
• оптимизация процесса измельчения сырья (для сухого способа производства), обеспечивающая снижение выбросов SO_2 из печи, как описано в разделе 1.3.4.3. (НДТ 20, в разделе 1.5.6.2).
</td></tr>
<tr><td>Снижение проскоков CO (НДТ 21 в разделе 1.5.6.3.1)</td><td>• при применении электрофильтров или гибридных фильтров – минимизация частоты проскоков CO и поддержание их общей длительности менее 30 минут в год, используя для этого объединенные технические решения, которые перечислены в НДТ 21 a – c, в разделе 1.5.6.3.</td></tr>
<tr><td>Выбросы общих органических соединений (НДТ 22 в разделе 1.5.6.4)</td><td>• поддерживать выбросы общих органических соединений из газов, выходящих из печи, на низком уровне путем предотвращения питания печи сырьевыми материалами, которые содержат большое количество летучих органических соединений</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Выбросы хлорида (HCl) и фторида (HF) водорода (НДТ 23 в разделе 1.5.6.5)</td><td>• поддержание выбросов HCl ниже 10 мг/нм^3 как среднесуточной величины или средней величины за период отбора проб (точечное измерение через каждые полчаса) путем применения, индивидуально или в сочетании, технологий, перечисленных в НДТ 23 a – b, в разделе 1.5.6.5;
• поддержание выбросов HF ниже 1 мг/нм^3 как среднесуточной величины или средней величины за период отбора проб (точечное измерение через каждые полчаса) путем применения, индивидуально или в сочетании, технологий, перечисленных в НДТ 23 a – b, в разделе 1.5.6.5;</td></tr>
<tr><td>Выбросы полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (ПХДД и ПХДФ) (НДТ 25 в разделе 1.5.7)</td><td>• избегать выбросов ПХДД и ПХДФ или поддерживать эти выбросы в отходящих печных газах низкими путем применения, отдельно или совместно, технических решений, перечисленных в НДТ 25 a – f, в разделе 1.5.7; при применении НДТ могут быть достигнуты уровни выбросов ПХДД и ПХДФ < 0,05 – 0,1 нг I-TEQ/нм^3 (международный эквивалент токсичности, средний показатель за период отбора проб 6 – 8 часов).</td></tr>
<tr><td>Выбросы металлов (НДТ 26 в разделе 1.5.8)</td><td>• минимизация выбросов металлов из отходящих печных газов путем использования, отдельно или совместно, технических решений, перечисленных в НДТ 26 a – c, в разделе 1.5.8; при их применении могут быть достигнуты уровни выбросов:
<table>
<tr><th>Металл</th><th>Размерность</th><th>Среднее значение за период отбора проб (точечные измерения через каждые полчаса)</th></tr>
<tr><td>Hg</td><td>мг/нм^3</td><td>< 0,05 [2)]</td></tr>
<tr><td>∑ (Cd, Tl)</td><td>мг/нм^3</td><td>< 0,05 [1)]</td></tr>
<tr><td>∑(As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mg, Ni, V)</td><td>мг/нм^3</td><td>< 0,5 [1)]</td></tr>
<tr><td colspan="3">[1)]сообщалось о более низких уровнях, см. разделы 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 и 1.4.7
[2)] сообщалось о более низких уровнях, см. разделы 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 и 1.4.7. Величины выбросов выше, чем 0,03 м/нм^3 требуют дальнейших исследований. Величины выбросов, близкие к 0,05 мг/нм^3, требуют дополнительных технических решений, таких, которые описаны в разделах 1.3.4.13, 1.3.9.1 и 1.4.7</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Производственные потери/отходы (НДТ 27 в разделе 1.5.9)</td><td>• вторичное использование накопленных пылеобразных веществ или использование этой пыли в других производимых продуктах, где это возможно.</td></tr>
<tr><td>Шум (НДТ 28, в разделе 1.5.10)</td><td>• снижение/минимизация шума при производстве цемента путем применения комплекса технических решений, которые перечислены в НДТ 28 a – h, в разделе 1.5.10.</td></tr>
</table>

Краткое резюме НДТ для известковой промышленности	
Системы экологического менеджмента (СЭМ) (НДТ 29 в разделе 2.5.1)	• реализация и выполнение определенных требований СЭМ, которые включают, в соответствии с теми или иными местными особенностями, положения, перечисленые в НДТ 29 , в разделе 2.5.1.

<table>
<tr><td>Основные первичные технические решения (НДТ 30, 31, 32, в разделе 2.5.2)</td><td>• достижение ровного и стабильного процесса обжига в печи в соответствии с установленными параметрами, что является полезным с точки зрения всех выбросов из печи, а также потребления энергии путем применения технических решений, перечисленных в НДТ 30 a, b, в разделе 2.5.2
• осуществление тщательного отбора и контроля всех веществ, поступающих в печь, чтобы предотвратить и/или снизить количество выбросов (НДТ 31, раздел 2.5.2)
• выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов, перечисленной в НДТ 32 a – d, в разделе 2.5.2</td></tr>
<tr><td>Энергопотребление (НДТ 33, 34, в разделе 2.5.3)</td><td>• снижение расхода тепла на обжиг путем применения комплекса мероприятий, перечисленных в НДТ 33 a – c.
В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты следующие уровни потребления тепловой энергии:
<table>
<tr><th>Тип печи</th><th>Потребление тепловой энергии, ГДж/т [1)]</th></tr>
<tr><td>Длинные вращающиеся печи</td><td>6,0-9,0</td></tr>
<tr><td>Вращающиеся с запечным теплообменником</td><td>5,1-7,8</td></tr>
<tr><td>Регенеративные с параллельнымпотоком материала</td><td>3,2-4,2</td></tr>
<tr><td>Кольцевые шахтные</td><td>3,3-4,9</td></tr>
<tr><td>Шахтные пересыпные</td><td>3,4-4,7</td></tr>
<tr><td>Прочих конструкций</td><td>3,5-7,0</td></tr>
<tr><td colspan="2">[1)] На энергопотребление влияют вид продукции, её качество, условия технологического процесса и качество сырья</td></tr>
</table>
• минимизация использования электроэнергии путем применения технических решений в отдельности или в комбинации друг с другом, которые перечислены в НДТ 34 a – c, в разделе 2.5.3 (НДТ 34, в разделе 2.5.3).</td></tr>
<tr><td>Потребление известняка (НДТ 35, в разделе 2.5.4)</td><td>• минимизация расхода известняка применением следующих технических решений, по отдельности или в сочетании, перечисленных в НДТ 35 a, b, в разделе 2.5.4.</td></tr>
<tr><td>Выбор топлива (НДТ 36, в разделе 2.5.5)</td><td>• осуществление тщательного подбора и контроля поступающего в печь топлива с целью обеспечить использование малосернистого топлива (в частности для вращающихся печей) с низким содержанием азота и хлора, чтобы исключить или снизить соответствующие выбросы</td></tr>
<tr><td>Контроль качества горючих отходов (НДТ 37 а, б в разделе 2.5.5.1.1)</td><td>• применение системы обеспечения качества, чтобы гарантировать характеристики отходов и анализ любых отходов, которые могут быть использованы как топливо в известковой печи, для обеспечения необходимых параметров/критериев, перечисленных в НДТ 37 а, в разделе 2.5.5.1.1.
• контроль достаточного количества необходимых параметров для любых отходов, используемых как топливо</td></tr>
</table>

	в известковой печи, таких, как содержание галогенов, некоторых металлов (например хрома, свинца, кадмия, ртути, таллия) и серы.
Подача в печь отходов (НДТ 38 a – e, в разделе 2.5.5.1.2)	• использование для сжигания отходов в печах соответствующих горелок и режимов обжига (НДТ 38 a, в разделе 1.5.4.2) • такая организация режима, чтобы образовавшийся при сжигании отходов газ находился в усредняющих и контролируемых условиях даже при самых неблагоприятных условиях при температуре 850 ^{0}C не менее 2 секунд (НДТ 38 b, в разделе 2.5.5.1.2) • повышение температуры свыше 1100 ^{0}C в том случае, если сжигаемые опасные отходы содержат свыше 1 % органических соединений хлора (НДТ 38 c, в разделе 2.5.5.1.2) • непрерывная и стабильная подача отходов (НДТ 38 d, в разделе 2.5.5.1.2) • прекращать сжигание отходов в период пуска и остановки печи, когда невозможно поддерживать необходимый режим (см. «b» и «c»). (НДТ 38 e, в разделе 2.5.5.1.2)
Обеспечение безопасности при использовании вредных отходов (НДТ 39, в разделе 2.5.5.1.3)	• применение мер безопасности при операциях с вредными отходами, например, при их складировании и/или подаче в печь (см. раздел 2.4.4). (НДТ 39, в разделе 2.5.5.1.3)
Неорганизованные выбросы пыли (НДТ 40, в разделе 2.5.5.6.1	• минимизация/предотвращение неорганизованных выбросов пыли путем применения отдельно или совместно технических решений, которые перечислены в НДТ 40 a, b, в разделе 2.5.6.1
Организованные выбросы пыли при операциях, связанных с пылением (НДТ 41 в разделе 2.5.6.2)	• применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров. Принимая во внимание указанную систему, НДТ позволяет снизить выбросы пыли при пылящих операциях (см. раздел 2.4.5.3) до величины менее 10 мг/нм^3 как средний показатель за время отбора проб путем применения рукавных фильтров или менее 10 – 20 мг/нм^3 при использовании влажных скрубберов. Очистку во влажных скрубберах используют главным образом на гидраторах для производства гашеной извести. Следует отметить, что для источников с объёмом выбросов меньше 10000 нм^3/ч это предпочтительное решение.
Выбросы пыли при обжиге в печи (НДТ 42 в разделе 2.5.6.3)	• снижение выбросов пыли из отходящих из печи газов путем применения очистки газа с помощью фильтра (см. раздел 2.4.5.3). При использовании рукавных фильтров среднесуточная величина выбросов составляет < 10 мг/нм^3. При применении электрофильтров или других фильтров среднесуточная величина выбросов составляет < 20 мг/нм^3. В исключительных случаях, когда пыль характеризуется высоким сопротивлением, уровень выбросов при использовании НДТ может оказаться выше и по результатам среднесуточных измерений достигать 30 мг/нм^3.
Первичные технические решения для снижения выбросов газообразных соединений (НДТ 43 в разде-	• снижение выбросов газообразных соединений (например NO_x, SO_x, HCl, CO, органического углерода, металлов) с дымовыми газами печного процесса путем применения отдельно или совместно технических

<table>
<tr><td>ле 2.5.7.1)</td><td>решений, которые перечислены в НДТ 43 a - c, в разделе 2.5.7.1</td></tr>
<tr><td>Выбросы NO_x (НДТ 44, 45 в разделе 2.5.7.2)</td><td>

снижение выбросов NOx в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно технических решений (см. раздел 2.4.6.1), которые перечислены в НДТ 44 a,b, в разделе 2.5.7.2. При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов:

<table>
<tr><th>Тип печи</th><th>Единица измерения</th><th>Суточный уровень выбросов NO_x</th></tr>
<tr><td>Регенеративные с параллельным потоком материала, кольцевые, шахтные пересыпные, печи другой конструкции</td><td>мг/нм^3</td><td>100 - < 350 [1)3)]</td></tr>
<tr><td>Длинные вращающиеся печи с запечным теплообменником</td><td>мг/нм^3</td><td>< 200 - < 500 [1)2)]</td></tr>
<tr><td colspan="3">[1)]Наибольшие значения, присущие обжигу доломита и сильно обожженной извести
[2)]Для вращающихся печей, производящих сильно обожженную известь. Верхний предел достигает 800 мг/нм^3
[3)] В том случае, когда решений из a) не достаточно и другие мероприятия не достаточны для обеспечения выбросов NO_x ниже 350 мг/нм^3, выбросы 500 мг/нм^3 наблюдаются при производстве сильно обожженной извести</td></tr>
</table>

при использовании технологии SNCR:

применять мероприятия, которые перечислены в НДТ 45 a,b, в разделе 2.5.7.2
удерживать выбросы и проскоки NH_3 в отходящих газах на минимально возможном уровне, но ниже 30 [1)] мг/нм^3 (среднесуточная величина). Должна учитываться корреляция между эффективностью снижения выбросов NO_x и появлением следов аммиака (см. раздел 2.4.6.1.4 и Рис. 2.50). (НДТ 45 c в разделе 2.5.7.2)

[1)] Этот уровень выбросов относится к результатам экспериментов, взятых с одного известкового предприятия, имеющего четыре печи.
</td></tr>
<tr><td>Выбросы SO_x (НДТ 46 в разделе 2.5.7.3)</td><td>

снижение выбросов SO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно технических решений (см. раздел 2.4.6.2), перечисленных в НДТ 46 a-c, в разделе 2.5.7.3. При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов:

<table>
<tr><th>Тип печи</th><th>Единица измерения</th><th>Среднесуточный уровень выброса SO_x как SO_2 [1)]</th></tr>
<tr><td>Регенеративные с параллельным потоком материала, кольцевые, пересыпные, шахтные, другой конструкции, с запечным теплообменником</td><td>мг/нм^3</td><td>< 50 - < 200</td></tr>
<tr><td>Длинные вращающиеся печи</td><td>мг/нм^3</td><td>< 50 - < 400</td></tr>
<tr><td colspan="3">[1)] Зависит от исходного содержания SO_2 в отходящих газах и от меро-</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>приятий по снижению выбросов</td></tr>
<tr><td>Выбросы CO (НДТ 47 в разделе 2.5.7.4.1)</td><td>• снижение выбросов CO в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно следующих технических решений, перечисленных в НДТ 47 а, б, в разделе 2.5.7.4.1. При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов:
<table>
<tr><th>Тип печи</th><th>Единица измерения</th><th>Среднесуточный уровень выброса 1)</th></tr>
<tr><td>Регенеративные с параллельным потоком материала, шахтные, другой конструкции, длинные вращающиеся и с запечным теплообменником</td><td>мг/нм^3</td><td>< 500</td></tr>
<tr><td colspan="3">1) Зависит от сырьевых материалов и вида производимой извести, например, гидравлической</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Снижение проскока CO (НДТ 48 в разделе 2.5.7.4.2)</td><td>• при использовании электрофильтров снижение частоты проскоков CO достигается путем применения технических мероприятий, перечисленных в НДТ 48 а – с в секции 2.5.7.4.2</td></tr>
<tr><td>Выбросы общего органического углерода (TOC) (НДТ 49, раздел 2.5.7.5)</td><td>• снижение выбросов TOC с дымовыми печными газами путем применения по отдельности или совместно следующих технических решений, перечисленных в НДТ 49 a,b, в разделе 2.5.7.5, индивидуально или совместно. При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов:
<table>
<tr><th>Тип печи</th><th>Единица измерения</th><th>Среднесуточный уровень выброса TOC</th></tr>
<tr><td>Длинные вращающиеся печи1) и с запечным теплообменником1)</td><td>мг/нм^3</td><td>< 10</td></tr>
<tr><td>Регенеративные с параллельным потоком материала2), кольцевые1), пересыпные1)2)</td><td>мг/нм^3</td><td>< 30</td></tr>
<tr><td colspan="3">1) Зависит от используемого сырья и вида производимой извести
2) В исключительных случаях уровень может быть выше</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Выбросы хлористого (HCl) и фтористого (HF) водорода (НДТ 50, в разделе 2.5.7.6)</td><td>• при использовании отходов снижение выбросов HCl и HF достигается путем использования по отдельности или совместно предварительных мероприятий, перечисленных в НДТ 50 a,b, в разделе 2.5.7.6.
При использовании НДТ средний суточный показатель или показатель при периодичном отборе проб через 1 ч или 30 мин. уровня выбросов HCl меньше 10 мг/нм^3. При использовании НДТ средний суточный показатель или показатель при периодичном отборе проб через 1 ч или 30 мин. уровня выбросов HF меньше 1 мг/нм^3.</td></tr>
<tr><td>Выбросы ПХДД и ПХДФ (НДТ 51, в разделе 2.5.8)</td><td>• предотвращение или снижение выбросов ПХДД и ПХДФ путем использования по отдельности или совместно предварительных мероприятий, перечисленных в НДТ 51 а - с, в разделе 2.5.8.
С использованием НДТ средние за период контроля (6 - 8 ч) выбросы ПХДД и ПХДФ составляют менее 0,5 - 1нг I-TEQ/нм^3.</td></tr>
<tr><td>Выбросы металлов (НДТ 52,</td><td>• минимизация выбросов металлов с дымовыми газами</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>в разделе 2.5.9)</td><td>печей путем использования по отдельности или совместно технических мероприятий, перечисленных в НДТ 52 a-d, в разделе 2.5.9. При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов:
<table>
<tr><th>Металлы</th><th>Единица измерения</th><th>Выбросы при измерениях с интервалом 30мин.</th></tr>
<tr><td>Hg</td><td>мг/нм^3</td><td>< 0,05</td></tr>
<tr><td>∑Cd, Tl</td><td>мг/нм^3</td><td>< 0,05</td></tr>
<tr><td>∑ As,Sb,Pb,Cr,Co,Cu,Mn,Ni,V</td><td>мг/нм^3</td><td>< 0,5</td></tr>
<tr><td colspan="3">По данным разделов 2.3.3.9, 2.3.3.10.1 и 4.3.4 при осуществлении 52 НДТ (a)-(c) достигаются низкие уровни выбросов</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Производственные потери/отходы (НДТ 53, в разделе 2.5.10)</td><td>• повторное использование собранной пыли/особого, характерного для процесса материала (НДТ 53 a, в разделе 2.5.10)
• использование пыли производства негашеной и гашеной извести в определенной товарной продукции (НДТ 53 b, в разделе 2.5.10)</td></tr>
<tr><td>Шум (НДТ 54, в разделе 2.5.11)</td><td>• снижение/минимизация уровня шума при производстве извести путем использования по отдельности или совместно технических решений (см. раздел 2.4.10), перечисленых в НДТ 54 a-o, в разделе 2.5.11</td></tr>
</table>

Краткое резюме НДТ для промышленности по производству оксида магния	
Системы экологического менеджмента СЭМ (НДТ 55, в разделе 3.5.1)	• реализация и выполнение определенных требований СЭМ, которые включают, в соответствии с теми или иными местными особенностями, положения, перечисленые в НДТ 55, в разделе 3.5.1.
Общие первичные технические решения – мониторинг (НДТ 56, в разделе 3.5.2)	• выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов, перечисленных в НДТ 56 a – c, в разделе 3.5.2
Энергопотребление (НДТ 57, 58 в разделе 3.5.3)	• снижение потребления тепловой энергии в зависимости от технологического процесса и продукции до 6 – 12 ГДж/т путем комбинации технических решений, перечисленных в НДТ 57 a - c, в разделе 3.5.3. • минимизация использования электроэнергии путем применения технических решений в отдельности или в комбинации друг с другом, перечисленных в НДТ 58 a-b, в разделе 3.5.3
Неорганизованные выбросы пыли (НДТ 59, в разделе 3.5.4.1)	• минимизация/предотвращение неорганизованных выбросов пыли путем применения для операций, связанных с пылевыделением отдельно или совместно комплекса технических решений.
Организованные выбросы пыли при операциях, связанных с пылением (НДТ 60 в разделе 3.5.4.2)	• снижение выбросов пыли при операциях, связанных с пылением, до среднего уровня при отборе проб с интервалом 0,5 – 1 ч. меньше 10 мг/нм^3 (уровень, достигаемый при использовании НДТ) путем очистки дымовых газов с помощью фильтра. Следует отметить, что для малых источников газовых выбросов с объёмом < 10000 нм^3/ч это является предпочтительным решением.

Выбросы пыли при обжиге в печи (НДТ 61 в разделе 3.5.4.3	• снижение выбросов пыли в дымовых газах, образующихся при обжиге в печи, до среднесуточного уровня или среднего уровня при отборе проб с интервалом 0,5 – 1 ч. < 20 – 35 мг/нм^3 (уровень, достигаемый при использовании НДТ) путем очистки отходящих газов в фильтре.
Общие первичные технические решения, направленные на снижение выбросов газообразных соединений (НДТ 62 в разделе 3.5.5.1)	• снижение выбросов газообразных соединений (NO_x, SO_x, HCl, CO) с дымовыми газами печного процесса путем применения отдельно или совместно технических решений, перечисленных в НДТ 62 а-с, в разделе 3.5.5.1
Выбросы NO_x (НДТ 63 в разделе 3.5.5.2)	• снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах до среднесуточного уровня < 500 – < 1500 мг/нм^3 (в пересчете на NO_2) путем применения отдельно или совместно технических решений перечисленных в НДТ 63 a – b, в разделе 3.5.5.2. Более высокий уровень выбросов, достигаемый при использовании НДТ, связан с высокотемпературным процессом производства мертвообожженной магнезии.
Выбросы CO (НДТ 64 в разделе 3.5.5.3.1)	• снижение среднесуточных выбросов CO в отходящих печных газах < 50 – 1000 мг/нм^3 (уровень, достигаемый при использовании НДТ) путем применения отдельно или совместно технических решений, перечисленных в НДТ 64 а - с, в разделе 3.5.5.3.1
Снижение проскока CO (НДТ 65 в разделе 3.5.5.3.2)	• при использовании электростатических осадителей – снижение частоты проскоков CO путем применения технических мероприятий, перечисленных в НДТ 65 а-с в разделе 3.5.5.3.2
Выбросы SO_x (НДТ 66 в разделе 3.5.5.4)	• снижение выбросов SO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно первичных и вторичных технических решений, перечисленных в НДТ 66 а - с, в разделе 3.5.5.4. При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов:

Параметр	Единица измерения	Уровень выбросов при использовании НДТ (среднесуточное значение) [1)]
SO_x выраженное как SO_2 Содержание серы в сырье < 0,1 %	мг/нм^3	< 50
SO_x выраженное как SO_2 Содержание серы в сырье < 0,1-0,25 %	мг/нм^3	50 - 250
SO_x выраженное как SO_2 Содержание серы в сырье > 0,25 %	мг/нм^3	250 - 400[2)]

[1)]Зависит от содержания серы в сырье. Минимальному содержанию серы соответствует и минимальный выброс, а максимальному-максимальный выброс.
[2)]В зависимости от состава сырья уровень выбросов может в исключительных случаях превзойти уровень 400 мг/нм^3

Производственные потери/отходы (НДТ 67, 68, 69 в разделе 3.5.6)	• повторное использование, где это возможно, уловленной пыли (различных видов карбоната магния). (НДТ 67 в разделе 3.5.6); • в том случае, если возврат пыли в технологический процесс не представляется возможным – мероприятия по использованию собранной пыли в составе товарной продукции (НДТ 68 в разделе 3.5.6); • использование шламов мокрой десульфуризации дымовых газов в других отраслях промышленности. (НДТ 69 в разделе 3.5.6).
Шум (НДТ 70 в разделе 3.5.7)	• снижение/минимизация уровня шума при производстве оксида магния путем использования по отдельности или совместно технических решений, перечисленных в НДТ 70 a - j, в разделе 3.5.7
Использование отходов в качестве топлива и/или сырья (НДТ 71 в разделе 3.5.8)	при использовании отходов: • выбор подходящих для процесса отходов и горелки (НДТ 71 a , в разделе 3.5.8); • использование системы менеджмента качества для подтверждения гарантийных характеристик и анализ отходов для подтверждения критериев, перечисленных в НДТ 71 b, в разделе 3.5.8, • контроль достаточного количества параметров любых отходов, которые предназначены для использования – общего содержания галогенов, металлов (хрома, свинца, кадмия, ртути, таллия) и серы (НДТ 71 c, в разделе 3.5.8)

Заключения, рекомендации, исследование и техническое развитие

Заключения и рекомендации для промышленности по производству цемента, извести и оксида магния содержат информацию о развитии настоящего документа, степени согласованности, достигнутой по предложениям НДТ для промышленности по производству цемента, извести и оксида магния и информацию о пробелах, которые до сих пор существуют.

Европейское Сообщество запускает и поддерживает через свои программы серию проектов, связанных с чистыми технологиями, переработкой отходов, рециркуляционных технологий и стратегии менеджмента. Потенциально эти проекты могут обеспечивать полезное содействие будущим обзорам НДТ. Читатели приглашаются к сотрудничеству и выдаче информации для Европейское бюро КПКЗ о любых результатах исследований, которые совпадают с целями настоящего документа (см. также Предисловие к документу).

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Статус настоящего документа

Если не указано иначе, под «Директивой» в настоящем документе следует понимать Директиву Европейского совета 96/61/ЕС по комплексному предотвращению и контролю загрязнения (КПКЗ). Равно как и Директива в целом, настоящий документ не рассматривает непосредственно установленные в ЕС требования в части здравоохранения и охраны труда.

Настоящий документ подготовлен Европейским Бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений. Он не является официальным изданием Европейского Сообщества и не отражает позицию Европейской Комиссии.

2. Правовые обязательства по Директиве КПКЗ и определение НДТ

Для того чтобы помочь читателю понять правовой контекст, с учетом которого создавался настоящий документ, в предисловии описаны некоторые из наиболее значимых требований Директивы, включая определение термина «наилучшие доступные технологии». Это описание неизбежно является неполным и поэтому приводится только для информации. Оно не имеет никакой юридической силы и никоим образом не изменяет или не наносит ущерб фактическим требованиям Директивы.

Цель Директивы состоит в том, чтобы обеспечить комплексное предотвращение и контроль загрязнений окружающей среды, являющихся следствием промышленной деятельности, виды которой перечислены в Приложении 1 к Директиве, для обеспечения общего высокого уровня защиты окружающей среды. Правовая основа Директивы относится к охране окружающей среды. При выполнении требований Директивы также следует принимать во внимание другие цели Сообщества, в частности конкурентоспособность промышленности Сообщества, которая должна обеспечить дальнейшее устойчивое развитие.

Более конкретно, Директива предусматривает систему выдачи разрешения на осуществление хозяйственной деятельности для определенных категорий промышленных объектов, требующих и от субъектов хозяйственной деятельности, и от контролирующих органов реализации комплексного подхода к оценке загрязнения, связанного с этой деятельностью, и характера потребления сырья и материалов. Общая цель такого комплексного подхода должна заключаться в совершенствовании регулирования и контроля производственных процессов с целью обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды. Самым важным в этом подходе является общий принцип, изложенный в Статье 3 и состоящий в том, что хозяйствующие субъекты должны осуществлять все необходимые предупредительные меры, направленные на предотвращение загрязнения окружающей среды, в частности, посредством внедрения наилучших доступных технологий, которые дают возможность обеспечить выполнение экологических требований.

Термин «наилучшие доступные технологии» определен в статье 2 (12) Директивы как «наиболее эффективные новейшие разработки для различных видов деятельности, процессов и способов функционирования, которые свидетельствуют о практической целесообразности использования конкретных технологий в качестве базы для установления разрешений на выбросы/ сбросы загрязняющий веществ в окружающую среду и размещение отходов с целью предотвращения загрязнения, или, когда предотвращение практически невозможно, минимизации выбросов/сбросов в окружающую среду в целом».

Статья 2 (12) разъясняет это определение следующим образом:

- под «технологией» понимается как используемая технология, так и способ, с помощью которого объект спроектирован, построен, эксплуатируется и выводится их эксплуатации;
- под «доступной» понимается технология, которая достигла уровня, позволяющего обеспечить ее внедрение в соответствующем секторе промышленности с учетом экономической и технической обоснованности, принимая во внимание затраты и преимущества; при этом субъект хозяйственной деятельности, на котором предполагается внедрение такой технологии, должен иметь к ней доступ, вне зависимости, разработана ли обсуждаемая технология в том государстве – члене ЕС, в котором предполагается ее использование;
- под «наилучшей» понимается технология, основанная на достижении общего высокого уровня защиты окружающей среды.

Кроме того, Приложение IV Директивы содержит список «основных положений, которые должны приниматься во внимание при определении наилучших доступных технологий с учетом экономических затрат и принципов предотвращения загрязнения окружающей среды». Эти положения включают информацию, опубликованную Комиссией в соответствии со статьей 17 (2).

Компетентные органы, ответственные за выдачу разрешения на осуществление хозяйственной деятельности, при определении условий выдачи разрешения должны принимать во внимание общие принципы, изложенные в статье 3 Директивы. Эти условия должны включать значения предельно допустимых выбросов/сбросов, дополненные или замененные соответствующими эквивалентными параметрами или техническими мероприятиями. Согласно Статье 9 (4) Директивы, значения предельно допустимых выбросов/сбросов, эквивалентные параметры и технические мероприятия, применяемые без ущерба стандартов качества окружающей среды, должны быть основаны на наилучших доступных технологиях без указаний на использование какой-либо конкретной технологии или метода, и должны определяться с учетом технических характеристик конкретной установки (предприятия), ее географического положения и местных условий окружающей среды. При любых обстоятельствах условия выдачи разрешения должны включать минимизацию трансграничного (дальнего) переноса загрязняющих веществ и должны гарантировать высокий уровень защиты для окружающей среды.

В соответствии с требованиями Статьи 11 Директивы государства-члены ЕС обязаны гарантировать, что компетентные органы располагают информацией относительно научно-технического развития в области наилучших доступных технологий.

3. Цель настоящего документа

Статья 17 (2) Директивы требует, чтобы Комиссия организовала «обмен информацией между государствами-членами ЕС и отраслями промышленности, заинтересованными во внедрении наилучших доступных технологий и мониторинг, связанный с этим обменом и научно-техническим развитием в данной области» и опубликовала результаты обмена.

Цель информационного обмена подробно изложена в п. 27 преамбулы к Директиве: «развитие и обмен информацией о наилучших доступных технологиях на уровне Сообщества:

- будет способствовать устранению технологических диспропорций внутри Сообщества
- будет способствовать международному распространению значений предельно допустимых выбросов/сбросов и технологий, применяемых в Сообществе
- будет оказывать содействие государствам – членам в эффективном выполнении требований настоящей Директивы».

Комиссия (директорат по окружающей среде – Environment DG) организовала форум по обмену информацией (IEF) для того, чтобы помочь выполнению требований Статьи 17

(2); Под эгидой IEF был создан ряд технических рабочих групп. При этом и IEF, и технические рабочие группы включают представителей государств – членов ЕС, так и представителей отраслей промышленности, как это предписано в Статье 17(2).

Целью настоящей серии документов является точное отражение процесса информационного обмена, который организован в соответствии со статьей 17 (2) Директивы, и обеспечение компетентных органов, выдающих разрешения на осуществление хозяйственной деятельности, справочной информацией для определения условий этих разрешений. Предоставляя соответствующую информацию по наилучшим доступным технологиям, настоящие документы должны действовать как механизм, способствующий улучшению экологической результативности предприятий.

4. Источники информации

Настоящий документ представляет собой обобщенную информацию, полученную из множества источников, и включающую, в частности, экспертные оценки групп, созданных для помощи Комиссии в ее работе в соответствии со Статьей 17 (2) Директивы. Составители документа признательны всем, кто внес вклад в его разработку.

5. Как понимать и использовать настоящий документ

Информация, содержащаяся в настоящем документе, предназначена для того, чтобы ее можно было использовать при определении наилучшей доступной технологии. При определении НДТ и установлении на основе НДТ условий для выдачи разрешения на право осуществления хозяйственной деятельности, всегда следует учитывать основополагающую цель – достижение высокого уровня защиты окружающей среды в целом.

Далее в тексте настоящего раздела дается краткое описание информации, приведенной в каждой из глав данного документа.

Как уже показано в разделе Содержание, настоящий документ составлен по-разному в сравнении со стандартным Справочным Документом (BREF). Настоящий документ содержит три главы: Глава 1 – цементная промышленность, Глава 2 – известковая промышленность и Глава 3 – промышленность по производству оксида магния сухим способом.

В пределах каждой из трех глав изложены следующие стандартные разделы:

- Раздел 1 и 2 каждой главы представляет собой основную информацию о соответствующей отрасли промышленности и используемом в ней производственном процессе.
- Раздел 3 каждой главы содержит информацию, относящуюся к уровню потребления и выбросов, отражающих ситуацию на существующих предприятиях на период подготовки документа.
- Раздел 4 каждой главы содержит более детальное описание способов снижения уровня выбросов и других технических решений, которые считаются наиболее относящимися к определению НДТ и основанных на НДТ условий разрешения. Эта информация включает уровни потребления и достижимых выбросов при использовании технических решений, а также некоторые понятия о стоимости, связанные с техническими решениями. Приводится также степень применимости технических решений к установкам в соответствии с требованиями разрешений комплексного предотвращения и контроля загрязнений окружающей среды (КПКЗ), например новые, существующие, большие или малые установки. Устаревшие способы не включаются.

- Раздел 5 каждой главы излагает способы и уровни потребления и выбросов, которые, в общем смысле, сравнимы с НДТ. Целью является обеспечение основных показателей, относящихся к уровням потребления и выбросов, которые могут быть значимыми сточки зрения помощи в определении основных условий разрешения НДТ или для установления основного правила в соответствии со Статьей 9(8) Директивы. Подтверждается, что настоящий документ не предлагает установить ограничения по выбросам. Определение соответствующих условий разрешения будут включены с учетом местных специфических факторов, таких как техническая характеристика соответствующих установок, их географическое расположение и местные условия окружающей среды. В случае существующих установок необходимо также учитывать их экономическую и техническую способность к улучшению. Даже отдельный объект обеспечения высокого уровня предотвращения загрязнения окружающей среды будет рассматриваться отраслью среди различных типов воздействия окружающей среды и эти разбирательства зависят от местного значения. Хотя попытки были сделаны, чтобы рассмотреть некоторые из этих выпусков, невозможно их учесть полностью в настоящем документе. Способы и уровень, представленные в разделе 1.5, 2.5 и 3.5, не будут необходимыми и присущими для всех установок. С другой стороны, чтобы обеспечить высокий уровень защиты окружающей среды, включая долгосрочную минимизацию или межграничные загрязнения, подразумевается, что условия разрешения не могут быть установлены на основе чисто местных значений. Поэтому в высшей степени важно, что информация, содержащаяся в документе, будет полностью учитываться разрешающими органами.
- Раздел 6 каждой главы описывает имеющиеся способы (технические решения).

Все комментарии и предложения следует направлять в Европейское Бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений при институте по исследованиям перспективных технологий по адресу:

Европейская Комиссия,
Институт исследований перспективных технологий
Edificio Expo, Inca Garcialo, s/n, E-41092 Seville – Spain
Telefone: + 34 95 4488 284 ; Fax: + 34 95 4488 426
e-mail: eippcb@jrc.es; Internet: http://eippcb.jrc.es

6. Развитие НДТ и рассматриваемого Справочного документа по НДТ

НДТ развиваются благодаря изменениям в научных знаниях и понятиях, развитии технологии (и стоимости технологии) и методов эксплуатации, а также успешному внедрению новых процессов по охране окружающей среды в промышленность. Как только разделы НТД изменяются со временем, Справочный документ пересматривает их и приводит в соответствие с современными требованиями.

Первый Справочный документ по цементной и известковой промышленности был принят Европейской Комиссией в 2001 году. Настоящий документ является результатом первого пересмотра материалов, который был сделан для цементной, известковой промышленности и производству оксида магния.

Справочный документ
по наилучшим доступным технологиям в производстве цемента, извести и оксида магния

КРАТКОЕ РЕЗЮМЕ i
ПРЕДИСЛОВИЕ xvii
Область охвата данного документа xlii
1. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТА 1
1.1 Общая информация о производстве цемента 1
1.2 Процессы и методы, применяемые при производстве цемента 10
1.2.1 Сырьевые материалы и их добыча 11
1.2.2 Сырьевые материалы – хранение и подготовка 14
1.2.2.1 Хранение сырьевых материалов 14
1.2.2.2 Измельчение сырьевых материалов 15
1.2.2.2.1 Измельчение сырьевых материалов при сухом и полусухом способах 15
1.2.2.2.2 Измельчение сырьевых материалов при мокром и полумокром способе 16
1.2.2.2.3 Гомогенизация и хранение сырьевой смеси или шлама 16
1.2.3 Топливо – хранение и приготовление 16
1.2.3.1 Хранение ископаемого топлива 17
1.2.3.2 Подготовка ископаемого топлива 18
1.2.4 Использование отходов 19
1.2.4.1 Общие аспекты 19
1.2.4.2 Использование отходов в качестве сырьевых материалов 21
1.2.4.3 Использование отходов в качестве топлива 23
1.2.4.3.1 Типы топливных отходов 24
1.2.4.3.2 Требования по качеству отходов и входной контроль 26
1.2.4.3.3 Складирование и транспортировка отходов 28
1.2.5 Обжиг клинкера 28
1.2.5.1 Форсунки печи 29
1.2.5.2 Длинные вращающиеся печи 30
1.2.5.3 Вращающиеся печи с подогревателями 31
1.2.5.3.1 Вращающиеся печи с конвейерным кальцинатором 31
1.2.5.3.2 Суспензионный теплообменник 32
1.2.5.3.3 Шахтный теплообменник 32
1.2.5.3.4 Четырехступенчатый циклонный теплообменник 33
1.2.5.4 Вращающаяся печь с циклонным теплообменником и декарбонизатором 33
1.2.5.4.1 Система байпаса печных газов 35
1.2.5.5 Шахтные печи 35
1.2.5.6 Печные отходящие газы 36
1.2.5.6.1 Выбросы CO 36
1.2.5.7 Клинкерные холодильники 36
1.2.5.7.1 Вращающиеся холодильники 37
1.2.5.7.2 Колосниковые холодильники 38
1.2.5.7.3 Вертикальные холодильники 40
1.2.5.8 Дополнительная выработка электрической энергии 40
1.2.6 Помол и складирование цемента 41
1.2.6.1 Складирование клинкера 41
1.2.6.2 Помол цемента 41
1.2.6.2.1 Дозировка компонентов портландцемента 41
1.2.6.2.2 Помол цемента 42
1.2.6.2.3 Измельчение минеральных добавок 43

1.2.6.2.4 Разделение частиц по размерам путем сепарации 43
1.2.6.2.5 Снижение содержания шестивалентного хрома в цементах 43
1.2.6.3 Складирование цемента 44
1.2.7 Упаковка и отгрузка 44
1.3 Современные уровни потребления и выбросов 45
1.3.1 Потребление воды 46
1.3.2 Потребление сырьевых материалов 47
1.3.2.1 Потребление отходов в качестве сырьевых материалов 47
1.3.3 Использование энергии 48
1.3.3.1 Потребление тепловой энергии 48
1.3.3.2 Потребление электрической энергии 50
1.3.3.3 Потребление топливных отходов 51
1.3.4 Выбросы в воздух 54
1.3.4.1 Пыль 57
1.3.4.1.1 Выбросы пыли 57
1.3.4.1.2 Выбросы тонкодисперсной пыли размером частиц менее 10 и 2,5 мкм . 59
1.3.4.1.3 Неорганизованные выбросы пыли 61
1.3.4.2 Оксиды азота 61
1.3.4.3 Выбросы диоксида серы 66
1.3.4.4 Выбросы оксидов углерода 70
1.3.4.4.1 Диоксид углерода 70
1.3.4.4.2 Оксид углерода 70
1.3.4.5 Общие органические соединения 71
1.3.4.6 Полихлорированные пара-дибензодиоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ) 73
1.3.4.7 Металлы и их соединения 76
1.3.4.7.1 Ртуть 80
1.3.4.8 Хлорид и фторид водорода (HCl и HF) 81
1.3.4.8.1 Газообразные неорганические соединения хлора 82
1.3.4.8.2 Газообразные неорганические соединения фтора 84
1.3.4.9 Аммиак (NH_3) 87
1.3.4.10 Бензол, толуол, этилбензол и ксилол 88
1.3.4.11 Полиароматические углеводороды 89
1.3.4.12 Другие органические загрязнящие вещества 89
1.3.4.13 Влияние отходов на выбросы в окружающую среду и энергетическую эффективность при производстве цемента 89
1.3.4.14 Влияние отходов на качество продукции 90
1.3.5 Производственные отходы 91
1.3.6 Выбросы в воду 92
1.3.7 Шум 92
1.3.8 Запах 93
1.3.9 Контроль и мониторинг 93
1.3.9.1 Контроль параметров и выбросов 93
1.4 Технологии, рассматриваемые в качестве НДТ 95
1.4.1 Потребление сырьевых материалов 96
1.4.2 Снижение потребления энергии (энергетическая эффективность) 97
1.4.2.1 Снижение использования тепловой энергии 97
1.4.2.1.1 Печные системы 97
1.4.2.1.2 Свойства сырьевых материалов 99
1.4.2.1.3 Свойства топлива 100
1.4.2.1.4 Система байпаса газа 102
1.4.2.1.5 Снижение содержания клинкера в цементе 102

1.4.2.2 Снижение уровня энергопотребления 103
1.4.2.3 Выбор способа производства 104
1.4.2.4 Рекуперация энергии из печи и холодильника / дополнительная генерация энергии 105
1.4.3 Основные технологии 107
1.4.3.1 Оптимизация контроля технологического процесса 107
1.4.3.2 Выбор топлива и сырьевых материалов 109
1.4.3.3 Использование отходов в качестве топлива 110
1.4.4 Выбросы пыли 112
1.4.4.1 Технические решения по операциям, связанным с пылевыделением 112
1.4.4.2 Технические решения для площадок навального хранения и штабелей 113
1.4.4.3 Снижение организованных выбросов пыли 114
1.4.4.3.1 Электрофильтры 116
1.4.4.3.2 Рукавные фильтры 118
1.4.4.3.3 Гибридные фильтры 123
1.4.5 Газообразные вещества 124
1.4.5.1 Снижение выбросов NO_x 125
1.4.5.1.1 Охлаждение пламени 127
1.4.5.1.2 Горелки с низким выделением NO_x 129
1.4.5.1.3 Постадийное сжигание топлива 130
1.4.5.1.4 Печи со сжиганием топлива в середине печи 131
1.4.5.1.5 Использование минерализаторов при обжиге клинкера 132
1.4.5.1.6 Оптимизация процесса обжига 133
1.4.5.1.7 Селективное некаталитическое восстановление (SNCR) 133
1.4.5.1.8 Селективное каталитическое восстановление оксидов азота (SCR) .. 139
1.4.5.2 Снижение выбросов SO_2 143
1.4.5.2.1 Добавление абсорбента 144
1.4.5.2.2 Мокрый скруббер 146
1.4.5.2.3 Использование активированного угля 148
1.4.5.3 Снижение выбросов оксида углерода и проскоков CO 149
1.4.5.4 Снижение выбросов органических соединений 152
1.4.5.5 Снижение выбросов хлорида водорода (HCl) и фторида водорода (HF) 153
1.4.6 Снижение выбросов полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ) 154
1.4.7 Снижение выбросов металлов 155
1.4.8 Примеры стоимости технических решений для очистки отходящих газов и первичные технические решения, используемые для снижения выбросов 156
1.4.8.1 Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов пыли 156
1.4.8.2 Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов NO_x 158
1.4.8.3 Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов SO_2 160
1.4.9 Производственные потери / отходы 162
1.4.10 Шум 163
1.4.11 Основные рекомендации по источникам запахов 164
1.4.12 Инструменты экологического менеджмента 164
1.5 Наилучшие доступные технологии для цементной промышленности 173
1.5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ) 175
1.5.2 Основные первичные технические решения 176
1.5.3 Потребление энергии и выбор процесса 177
1.5.3.1 Выбор процесса 177

1.5.3.2 Потребление энергии 177
1.5.4 Использование отходов 178
1.5.4.1 Контроль качества отходов 178
1.5.4.2 Подача отходов печь 179
1.5.4.3 Меры безопасности при использовании вредных отходов 179
1.5.5 Выбросы пыли 180
1.5.5.1 Неорганизованные выбросы пыли 180
1.5.5.2 Организованные выбросы пыли 180
1.5.5.3 Выбросы пыли из печи для обжига клинкера 180
1.5.5.4 Выбросы пыли при охлаждении и помоле 181
1.5.6 Газообразные соединения 181
1.5.6.1 Выбросы NO_x 181
1.5.6.2 Выбросы SO_x 182
1.5.6.3 Выбросы CO и проскоки CO 183
1.5.6.3.1 Снижение проскоков CO 183
1.5.6.4 Суммарные выбросы органических соединений 183
1.5.6.5 Выбросы хлорида водорода (HCl) и фторида водорода (HF) 183
1.5.7 Выбросы полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (ПХДД и ПХДФ) 184
1.5.8 Выбросы металлов 185
1.5.9 Производственные потери/отходы 185
1.5.10 Шум 186
1.6 Перспективные технологии производства цемента 187
1.6.1 Технология получения цемента в кипящем слое 187
1.6.2 Совмещение стадийного сжигания топлива и технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота 188
1.6.3 Обработка отходящих печных газов порошкообразным бикарбонатом натрия с повторным его использованием 188
1.7 Заключение и рекомендации 191
Хронология рабочего процесса 191
2. ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ 195
2.1 Общие сведения об известковой промышленности 195
2.1.1. Известь и её применение 195
2.1.2 Мировое производство извести 196
2.1.3 Географическое распределение и общее экономическое состояние в Европе -основные показатели 197
2.1.3.1 Годовой выпуск продукции 197
2.1.3.2 Основные факторы, характеризующие охрану окружающей среды и устойчивое развитие 198
2.1.3.3 Виды кальциевой и доломитовой извести 198
2.1.3.4 Установки для производства извести 199
2.2 Технологические процессы и оборудование, используемое при производстве извести 202
2.1.2 Общее описание процесса производства 203
2.2.2 Сырьевые материалы и добыча известняка 204
2.2.3 Подготовка известняка, очистка и хранение 206
2.2.3.1 Подготовка известняка 206
2.2.3.2 Складирование известняка 206
2.2.3.3 Промывка известняка 207
2.2.4 Топливо, подготовка и хранение 207
2.2.5 Использование отходов 210
2.2.5.1 Общие положения 210

2.2.5.2 Технологические аспекты 211
2.2.5.3 Виды используемых горючих отходов 212
2.2.5.4 Контроль качества горючих отходов 214
2.2.6 Производство негашеной извести и доломита 214
2.2.6.1 Обжиг известняка – химическая реакция 214
2.2.6.2 Обжиг известняка в печи 216
2.2.6.3 Производство негашеной извести 218
2.2.6.3.1 Производство измельченной негашеной извести 218
2.2.6.4 Производство гашеной и/или гидратной извести 218
2.2.6.4.1 Производство гидратной извести 218
2.2.6.4.2 Производство известкового молока и известкового теста 219
2.2.7 Типы известеобжигательных печей - конструкции и технология 220
2.2.7.1 Шахтные пересыпные печи (MFSK) 222
2.2.7.2 Регенеративная печь с параллельным потоком материала(PFRK) 224
2.2.7.3 Кольцевые шахтные печи 227
2.2.7.4 Печи другой конструкции (ОК) 228
2.2.7.4.1 Другие одношахтные печи 229
2.2.7.4.2 Печи с двумя наклонами шахты 229
2.2.7.4.3 Многошахтные печи 229
2.2.7.4.4 Печи с движущейся решеткой 229
2.2.7.4.5 Печи с надстройкой 230
2.2.7.4.6 Печи для обжига в газовой суспензии (GSC) 230
2.2.7.4.7. Печи с вращающимся подом 231
2.2.7.5 Длинные вращающиеся печи (LRK) 231
2.2.7.6 Вращающиеся печи с запечным теплообменником (PRK) 233
2.2.8 Складирование и транспортирование 235
2.2.8.1 Складирование 235
2.2.8.1.1 Складирование негашеной извести 235
2.2.8.1.2 Складирование гашеной извести 236
2.2.8.1.3 Складирование известкового молока 236
2.2.8.2 Транспортирование 237
2.2.9. Другие виды извести 237
2.2.9.1 Производство гидравлической извести 237
2.2.9.2 Производство обожженного доломита 238
2.2.10 Общие соображения относительно печей для обжига технологической извести 238
2.2.10.1 Известеобжигательные печи в чугунолитейном и сталелитейном производстве 238
2.2.10.2 Известеобжигательные печи производства картона и бумаги 238
2.2.10.3 Известеобжигательные печи сахарного производства 239
2.3 Существующие уровни потребления и выбросов 239
2.3.1 Потребление известняка 240
2.3.2 Потребление энергии 240
2.3.2.1 Обжиг известняка 240
2.3.2.2 Гидратация извести 241
2.3.2.3 Измельчение извести 241
2.2.3 Выбросы в воздух 241
2.3.3.1 Пыль 244
2.3.3.1.1 Источники выбросов пыли 244
2.3.3.2.1 Неорганизованные выбросы пыли 246
2.3.3.2 Оксиды азота 246
2.3.3.3 Диоксид серы 248

2.3.3.4 Оксиды углерода (CO_x) 250
2.3.3.4.1 Диоксид углерода (CO_2) 250
2.3.3.4.2 Оксид углерода (CO) 251
2.3.3.5 Органические соединения / общий органический углерод (TOC) 253
2.3.3.6 Полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны (ПХДД и ПХДФ) 255
2.3.3.7 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF) 255
2.3.3.8 Сероводород (H_2S) 256
2.3.3.9 Металлы 257
2.3.3.10 Влияние использования отходов на характер выбросов 257
1.3.3.10.1 Примеры выбросов при использовании отходов нефти 257
2.3.3.10.2 Примеры выбросов при использовании твердых отходов во вращающихся печах 258
2.3.4 Потери производства/отходы 260
2.3.5 Использование воды и очистка 261
2.3.6 Шум 261
2.3.7 Запах 261
2.3.8 Мониторинг 261
2.3.8.1 Непрерывные измерения 262
2.3.8.2 Периодические измерения 262
2.4 Методы, рассматриваемые в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ) 263
2.4.1 Потребление известняка 265
2.4.2 Сокращение потребления энергии (эффективность энергопотребления) ... 265
2.4.3 Оптимизация процесса контроля 268
2.4.4 Выбор топлива(включая горючие отходы) 269
2.4.5 Выбросы пыли 271
2.4.5.1 Технические решения для устранения пылевыбросов 271
2.4.5.2 Технические решения для хранения сыпучих материалов и штабелей ... 272
2.4.5.3 Сокращение источников выбросов пыли 273
2.4.5.3.1 Электрофильтры 274
2.4.5.3.2 Рукавные фильтры 276
2.4.5.3.3 Влажное пылеудаление 279
2.4.5.3.4 Центробежные сепараторы/циклоны 280
2.4.5.3.5 Примеры стоимости различных способов очистки дымовых газов 281
2.4.6 Газовые выбросы 285
2.4.6.1 Снижение выбросов NO_x 285
2.4.6.1.1 Оптимизация технологического процесса 286
2.4.6.1.2 Стадийная подача воздуха 287
2.4.6.1.3 Горелки с пониженным образованием NO_x 288
2.4.6.1.4 Селективное некаталитическое восстановление оксидов азота (SNCR) 289
2.4.6.1.5 Селективное каталитическое восстановление оксидов азота (SCR) ... 292
2.4.6.2 Снижение выбросов SO_2 293
2.4.6.3 Снижение выбросов CO 294
2.4.6.4 Снижение выбросов общих органических соединений (TOC) 295
2.4.6.5 Снижение выбросов хлористого (HCl) и фтористого (HF) водорода 296
2.4.7 Снижение выбросов полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (ПХДД и ПХДФ) 296
2.4.8 Снижение выбросов металлов 298
2.4.9 Производственные потери/отходы 299

2.4.9.1 Общие соображения относительно повторного использования твердых производственных отходов в качестве сырья 299
2.4.10 Шум 300
2.4.11 Общие соображения о запахах 302
2.4.12 Инструменты экологического менеджмента 302
2.5 Наилучшие доступные технологии для известковой промышленности 302
2.5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ) 304
2.5.2 Основные первичные технические решения 306
2.5.3 Энергопотребление 306
2.5.4 Потребление известняка 307
2.5.5 Выбор топлива 308
2.5.5.1 Использование отходов в качестве топлива 308
2.5.5.1.1 Контроль качества горючих отходов 308
2.5.5.1.2 Подача в печь отходов 308
2.5.5.1.3 Обеспечение безопасности при использовании вредных отходов 309
2.5.6 Выбросы пыли 309
2.5.6.1 Неорганизованные выбросы пыли 309
2.5.6.2 Организованные выбросы пыли при операциях, связанных с пылением 309
2.5.6.3 Выбросы пыли при обжиге в печи 310
2.5.7 Газообразные соединения 310
2.5.7.1 Первичные технические решения для снижения выбросов газообразных соединений 310
2.5.7.2 Выбросы NO_x 311
2.5.7.3 Выбросы SO_x 311
2.5.7.4 Выбросы и проскок CO 312
2.5.7.4.1 Выбросы CO 312
2.5.7.4.2 Снижение проскока CO 313
2.5.7.5 Выбросы общих органических соединений (TOC) 313
2.5.7.6 Выбросы хлористого (HCl) и фтористого (HF) водорода 313
2.5.8 Выбросы ПХДД и ПХДФ 314
2.5.9 Выбросы металлов 314
2.5.10 Производственные потери/отходы 315
2.5.11 Шум 315
2.6. Перспективные технологии в известковой промышленности 316
2.6.1 Обжиг в кипящем слое 316
2.6.2 Обжиг во взвешенном состоянии/подогреватель во взвешенном состоянии 316
2.6.3 Керамические фильтры 317
2.6.4 Дожигание дымовых газов шахтных пересыпных печей 317
2.7 Выводы и рекомендации 318
3. Производство оксида магния (технология сухого способа обжига природного магнезита) 322
3.1 Общая информация 322
3.1.1 Введение 322
3.1.2 Производство оксида магния в мире и в Европе 322
3.1.2.1 Виды продукции оксида магния(магнезии) 325
3.1.2.1.1 Магнезия 325
3.1.2 Применение магнезии 326
3.2 Применяемые процессы и техника 328
3.2.1. Сырьевые материалы и их подготовка 328
3.2.1.1 Магнезит 329
3.2.2 Топливо 329

3.2.3 Общее описание процесса получения магнезии (спеченной/мертво обожженной) из магнезита 330
3.2.3.1 Процессы обжига 330
3.2.3.1.1 Процесс прямого обжига (однофазный обжиг) 330
3.2.3.1.2 Процесс двухфазного обжига 332
3.2.3.2 Типы печей – технология и конструкция 333
3.2.3.2.1 Вращающиеся печи 334
3.2.3.2.2 Шахтные печи 335
2.2.4 Производство плавленой магнезии 337
3.3 Существующие уровни потребления и выбросов 338
3.3.1 Потребление сырьевых материалов (необработанного магнезита) и воды 338
3.3.2 Энергопотребление 339
3.3.3 Выбросы 340
3.3.3.1 Выбросы в воздух 340
3.3.3.2 Производственные потери 341
3.3.3.3. Сбросы в воду 341
3.3.3.4 Шум 342
3.3.4 Мониторинг 342
3.4 Методы, рассматриваемые в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ) 342
3.4.1 Общие соображения относительно потребности в сырье 343
3.4.2 Общие соображения относительно потребности в воде 344
3.4.3 Снижение расхода энергии (энергетическая эффективность) 344
3.4.4 Оптимизация процесса контроля 345
3.4.5 Выбор топлива 345
3.4.6 Выбросы пыли 347
3.4.6.1 Технические решения для операций, связанных с пылевыделением 347
3.4.6.2 Сокращение источников выброса пыли 348
3.4.6.2.1 Электростатические осадители 348
3.4.6.2.2 Центробежные сепараторы/циклоны 349
3.4.6.2.3 Влажные отделители пыли 350
3.4.6.2.4 Рукавные фильтры 351
3.4.7 Газообразные соединения 352
3.4.7.1 Снижение выбросов NO_x 352
3.4.7.2 Снижение выбросов CO 354
3.4.7.3 Снижение выбросов SO_2 355
3.4.8 Общие соображения относительно производственных потерь/отходов 356
3.4.9 Шум 356
3.4.10 Средства экологического менеджмента 357
3.5 Наилучшие доступные технологии для производства оксида магния по технологии сухого способа обжига природного магнезита 358
3.6.1 Система экологического менеджмента 360
3.5.2 Общие первичные технические решения – мониторинг 361
3.5.3 Энергопотребление 362
3.5.4 Выбросы пыли 362
3.5 4.1 Неорганизованные выбросы пыли 362
3.5.4.2 Организованные выбросы пыли при операциях, связанных с пылением 362
3.5.4.3 Выбросы пыли при обжиге в печи 363
3.5.5. Газообразные соединения 363
3.5.5.1 Общие первичные технические решения, направленные на снижение выбросов газообразных соединений 363

3.5.5.2 Выбросы NO_x 364
3.5.5.3 Выбросы и проскок CO 364
3.5.5.3.1 Выбросы CO 364
3.5.5.3.2 Снижение проскока CO 365
3.5.5.4 Выбросы SO_x 365
3.5.6 Производственные потери/отходы 366
3.5.7 Шум 366
3.5.8 Использование отходов в качестве топлива и/или сырья 366
3.6 Перспективные технологии 367
3.7 Выводы и рекомендации 367
Список использованных источников информации 371
Список сокращений и терминов 379
4 Приложения 384
4.1 Природоохранное законодательство Европейского сообщества применительно к производству цемента и извести 384
4.2 Приложения – производство цемента 384
4.2.1 Группировка горючих отходов ЦЕМБЮРО согласно Европейскому каталогу отходов 384
4.2.2 Цементное производство – характеристики отдельных предприятий 389
4.2.2.1 Примеры используемых отходов, их влияние на выбросы и диапазон концентраций веществ в отходах (критерий воздействия) 389
4.2.2.1.1 Примеры диапазонов концентраций веществ, вносимых с отходами 394
4.2.2.2 Примеры потребления тепловой энергии 401
4.2.2.3 Примеры величины выбросов 402
4.2.3 Производство цемента – генерация дополнительной энергии/рекуперация избыточного тепла 404
4.2.3.1 Преобразование в электроэнергию посредством традиционного процесса испарения – цементный завод в г. Слите (Швеция) 404
4.2.3.2 Рекуперация тепла с помощью процесса на основе органического цикла Ранкина – цементный завод в г. Ленгфурт, Германия. 405
4.2.4 Производство цемента – примеры сокращения выбросов NO_x с помощью высокоэффективной технологии селективного некаталитического восстановления (SNCR) 407
4.2.4.1 Пример использования технологии SNCR в Швеции 407
4.2.4.2 Применение технологии SNCR в Германии 410
4.2.5 Производство цемента – пример снижения выбросов NO_x при использовании технологии селективного каталитического восстановления (SCR) 411
4.2.6 Производство цемента – указания относительно контроля проскока CO 415
4.2.6.1 Цель снижения операционных помех - проскоки CO 416
2.4.6.2 Разработка стратегии минимизации образования CO 416
4.2.6.3 Система мониторинга CO 417
4.2.6.4 Действия, которые необходимы при проскоке CO 417
4.2.6.5 CO и CH_4 в рукавных фильтрах 418
4.3 Приложения – производство извести 418
4.3.1 Производство извести – распределение концентраций металлов в отходящих газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 418
4.3.2 Производство извести – специальные характеристики завода 422
4.3.2.1 Примеры характеристик сырья 423
4.3.2.2 Использование отходов в качестве топлива - примеры содержащихся в отходах загрязняющих веществ 423
4.3.2.3 Примеры уровней потребления и выбросов 424

4.3.3 Производство извести - пример подачи нефтяных отходов в шахтную печь ОК 430
4.3.4 Производство извести - пример контроля качества твердых отходов, используемых в качестве топлива во вращающихся печах 431
4.3.5 Известковое производство - пример денитрификации отходящих газов с помощью технологии SNCR во вращающихся печах с запечным теплообменником 434

Список рисунков

Рис.1.1. Производство цемента в странах Европейского Сообщества и мире с 1950 до 2006 года 1
Рис.1.2. Численность работающих в цементной промышленности 2
в ЕС с 1975 до 2005 г. [72] 2
Рис.1.3. Производство (включая клинкер на экспорт) и потребление цемента в 25 ведущих европейских странах 3
Рис. 1.4. Принципиальная схема производства цемента 12
Рис.1.5. Пример крытого склада сырьевых материалов 14
Рис.1.6. Тройная диаграмма CaO, SiO_2 и Fe_2O_3/Al_2O_3 цементного клинкера, золы различных сырьевых материалов и топлива 23
Рис.1.7. Опасные отходы – пропитанные опилки 25
Рис.1.8. Специально приготовленные топливные отходы на основе бумаги, пластика и текстиля [81] 25
Рис.1.9. Специально приготовленные бытовые отходы, используемые в качестве топлива в цементных печах [82] 25
Рис.1.10. Схема печи с теплообменником, декарбонизатором и колосниковым холодильником [72] 29
Рис.1.11. Образец многоканальной форсунки 30
Рис. 1.12. Конвейерный кальцинатор 31
Рис. 1.13. Циклонный суспензионный теплообменник 32
Рис. 1.14 Циклонный теплообменник с декарбонизатором 32
Рис. 1.15. Температурные профили печных газов и сырьевой смеси в циклонном теплообменнике 34
Рис. 1.16. Циклонный теплообменник с декарбонизатором 34
Рис. 1.17. Использование отходов в качестве топлива в печи с декарбонизатором 34
Рис. 1.18. Планетарный рекуператорный клинкерный холодильник 38
Рис.1.19. Материальный баланс производства 1 кг цемента при сухом способе производства [103] 46
Рис.1.20. Отходы, используемые как сырьевые материалы в 20 странах ЕС 48
Рис. 1.21. Удельный расход тепла в цементной промышленности в 25 странах ЕС в 2004 году [84] 49
Рис. 1.22. Использование различных видов опасных и безопасных топливосодержащих отходов в качестве топлива для производства цемента в странах ЕС 53
Рис. 1.23. Диапазон уровней выбросов пыли при непрерывном измерении на 253 вращающихся печах в странах ЕС 58
Рис. 1.24. Диапазон уровней выбросов пыли при периодических измерениях на 180 вращающихся печах в странах ЕС 58
Рис. 1.25. Концентрации NOx (в пересчете на NO_2) из печей в 27 странах ЕС 63
Рис. 1.26. Распределение измерений, распределенных по уровню эквивалента теплового NO_x 64
Рис. 1.27. Достигнутый уровень выбросов NO_x при охлаждении пламени на заводах в странах ЕС 65
Рис. 1.28. Достигнутый уровень выбросов NO_x на заводах в странах ЕС, не использующих технологию охлаждения пламени 65
Рис. 1.29. Выбросы NO_x, достигнутые несколькими цементными заводами, использующими технологию неселективного каталитического восстановления оксидов азота [85] 66

Рис. 1.30. Выбросы NO_x, достигнутые несколькими цементными заводами без использования технологии неселективного каталитического восстановления оксидов азота [85] 66
Рис.1.31. Диаграмма кругооборота серы в печи 67
Рис. 1.32. Выбросы SO_2 в печных газах цементных заводов стран ЕС 68
Рис. 1.33 Распределение измерений, классифицированных по степени термического связывания SO_2 68
Рис. 1.34. Концентрация CO для 29 вращающихся печей Германии в 2004 году 71
Рис. 1.35. Выбросы общих органических соединений из цементных печей в странах ЕС72
Рис. 1.36 Распределение постоянных измерений общего содержания органических веществ по категории количества 72
Рис. 1.37. Концентрация общих органических соединений в печных газах цементных печей Германии в 2004 году 73
Рис. 1.38. Выбросы ПХДД и ПХДФ из цементных печей в 27 странах ЕС в 2004 году 75
Рис. 1.39 Распределение точечных измерений, классифицированных по уровню выбросов 75
Рис. 1.40. Выбросы ПХДД и ПХДФ из 39 цементных печей в Германии в 2004 г. 76
Рис.1.41. Перемещение металлов в цементной печи сухого способа с теплообменником [89] 77
Рис. 1.42. Выбросы кадмия и таллия, замеренные в 262 точках 27 стран ЕС и стран, охватываемых ЦЕМБЮРО 78
Рис. 1.43. Распределение измерений, разделенных по уровню ∑ (Cd, Tl) 79
Рис. 1.44 Выбросы ∑(Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), замеренные в 287 точках 27 стран ЕС и стран, охватываемых ЦЕМБЮРО 79
Рис. 1.45 Распределение измерений по уровню ∑ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) 79
Рис. 1.46 Показатели выбросов ртути из 306 точек измерений в странах ЕС 81
Рис.1.47. Распределение измерений по категориям 81
Рис. 1.48 Показатели выбросов HCl для 98 цементных печей в странах ЕС 82
Рис. 1.49 Распределение постоянно измеряемых выбросов HCl 83
Рис. 1.50 Уровни выбросов из 233 точечных замеров для вращающихся печей в странах ЕС 83
Рис. 1.51 Распределение точечных измерений HCl 83
Рис. 1.52 Выбросы газовых неорганических соединений хлора в виде HCl, замеренных для 38 вращающихся печей в Германии в 2004 году 84
Рис. 1.53 Показатели выбросов HF для вращающихся печей в странах ЕС 85
Рис. 1.54 Распределение постоянных измерений HF 85
Рис. 1.55 Показатели выбросов HF для вращающихся печей в странах ЕС по периодическим замерам 86
Рис. 1.56 Распределение периодических измерений HF 86
Рис. 1.57 Выбросы газовых неорганических соединений фтора в пересчете на HF, замеренных для 38 вращающихся печей в Германии в 2004 году 87
Рис. 1.58 Выбросы аммиака на цементных заводах Швеции, оборудованных скрубберами для улавливания SO_x [114] 88
Рис. 1.59. Концентрации выбросов бензола, замеренные на 17 вращающихся печах Германии 89
Рис. 1.60. Пример рукавного фильтра и фильтрующего материала, используемых на цементном заводе в Соединенном Королевстве 119
Рис. 1.61. Гибридный фильтр для сбора пыли 124
Рис. 1.62 Инжекционные методы, используемые для охлаждения пламени в производстве цемента 127

Рис. 1.63. Характеристики установок для охлаждения пламени, применяемых в ЕС 128
Рис. 1.64. Характеристики цементных заводов стран ЕС, использующих технологию селективного некаталитического восстановления оксидов азота [85] 134
Рис. 1.65. Реагенты – восстановители, применяемые на заводах стран ЕС..... 135
Рис. 1.66 Пример установки SCR 141
Рис. 1.67 Пример катализатора, используемого в технологии SCR..... 141
Рис. 1.68 Пример расположения модуля, используемого в технологии SCR..... 141
Рис. 1.69 Схема действующего мокрого скруббера 147
Рис. 1.70 Непрерывное улучшение в модели СЭМ 165
Рис. 1.71 Печь кипящего слоя..... 187
Рис 2.1 Производство извести и доломита в странах ЕС-27 в 2004 г. 197
Рис. 2.2 Доля производства товарной извести в печах различного типа в странах ЕС-27 в 2004 г. 200
Рис. 2.3 Доля производства товарной доломитовой извести в печах различного типа в странах ЕС-27 в 2004 г. 201
Рис. 2.4 Доля производства товарного мертво обожженного доломита в печах различного типа в странах ЕС-27 2004 г..... 201
Рис. 2.5 Технологическая схема процесса производства извести 203
Рис 2.6 Схема основных этапов технологии производства извести 204
Рис 2.7 Технологическая схема процесса производства извести 204
Рис 2.8 Технологическая схема промывки известняка и очистки промывных вод..... 207
Рис. 2.9 Виды топлива, использованные в различных известеобжигательных печах стран ЕС-27 в 2005 г. 208
Рис. 2.10 Схема дозирующего устройства шахтной печи 209
Рис. 2.11 Дозирующее устройство шахтной печи 209
Рис. 2.12 Доля извести, произведенной в европейских странах с использованием горючих отходов..... 211
Рис. 2.13 Распределение по странам Европы известеобжигательных печей, использующих горючие отходы 211
Рис. 2.14 Вид спереди многоканальной горелки, используемой во вращающейся печи 212
Рис 2.15 Устройство горелки для вращающейся печи 212
Рис. 2.16 Зависимость активности от температуры обжига и вида известняка 215
Рис. 2.17 Морфология мягко-, средне- и сильно обожженной извести 216
Рис. 2.18 Общие принципы обжига извести 217
Рис. 2.19 Технологическая схема гидратора извести..... 219
Рис. 2.20 Принцип действия шахтной пересыпной печи 223
Рис. 2.21 Шахтная пересыпная печь 223
Рис. 2.22 Принцип действия регенеративной печи с параллельным потоком материала (PFRK)..... 224
Рис. 2.23 Регенеративная печь с параллельным потоком материала (PFRK)..... 224
Рис. 2.24 Принцип распределения газовых потоков в PFRK печи [44] 225
Рис. 2.25 Кольцевая шахтная печь..... 227
Рис. 2.26 Шахтная кольцевая печь, используемая для производства извести 227
Рис 2.27 Принцип действия кольцевых шахтных печей 228
Рис. 2.28 Печь с двумя наклонами шахты 229
Рис. 2.29 Технологическая схема процесса в печи для обжига в газовой суспензии..... 231
Рис. 2.30 Принцип действия длинной вращающейся печи 231
Рис. 2.31 Длинная вращающаяся печь для производства извести 232

Рис. 2.32 Вращающаяся печь с запечным теплообменником 233
Рис. 2.33 Принципиальная технологическая схема вращающейся печи с запечным теплообменником 234
Рис. 2.34 Вращающаяся печь с запечным теплообменником 234
Рис. 2.35 Результаты измерений выбросов пыли из различных известеобжигательных печей, оснащенных различным пылеочистным оборудованием в странах ЕС-27 (измерения проводили с получасовым интервалом) 244
Рис. 2.36 Выбросы NO_x различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27. Измерения с получасовым интервалом 247
Рис. 2.37 Выбросы SO_2 из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27, использующих ископаемое топливо. Точечные измерения проводили с получасовым интервалом 248
Рис 2.38 Выбросы SO_2 из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27,использующих ископаемое топливо и горючие отходы. Точечные измерения проводили с получасовым интервалом 249
Рис. 2.39 Выбросы CO из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27 251
Рис. 2.40 Химические реакции и потребление энергии в шахтных пересыпных печах (реакция Boudouard) 253
Рис 2.41 Выбросы TOC из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27254
Рис. 2.42 Выбросы HCl из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27. 256
Рис 2.44 Схема рукавного фильтра с пульсирующей очисткой 277
Рис 2.45 Сема очистки отходящих газов в многостадийном скруббере 279
Рис. 2.46 Стоимость инвестиций электростатических осадителей и тканевых фильтров в зависимости от производительности печи в странах ЕС 282
Рис. 2.47 Моделирование стоимости обеспыливания как функции пределов выброса пыли вращающейся печью, оборудованной электростатическим осадителем 282
Рис. 2.48 Моделирование стоимости обеспыливания как функции пределов выброса пыли регенеративной печью с параллельным потоком материала, оборудованной тканевым фильтром 283
Рис. 2.49 Выполненное в Италии в 2007 г. моделирование стоимости обеспыливания как функции пределов выброса пыли регенеративной печью с параллельным потоком материала, оборудованной тканевым фильтром 283
Рис. 2.50 Влияние температуры на снижение выбросов NO_x 290
Рис. 2.51 Схема процесса формирования выбросов ПХДД/ПХДФ в вертикальных известеобжигательных печах 297
Рис. 2.52 Схема процесса формирования выбросов ПХДД/ПХДФ в длинных вращающихся печах и в печах с запечным теплообменником 298
Рис. 2.53 Печь кипящего слоя 316
Рис 2.54 Пример технологической схемы обработки дымовых газов 317
Рис. 3.1 Мировые источники оксида магния и страны-производители 323
Рис. 3.2 Добыча сырого магнезита в странах ЕС-25 и в мире 323
Рис 3.3 Мировое производство различных модификаций оксида магния в 2003 г. 325
Рис. 3.4 Специфические области мирового применения магнезии в 2003 г. 327
Рис. 3.5 Мировая потребность в огнеупорах для производства стали 328
Рис 3.6 Схема естественного хода процесса получения магнезии 330
Рис 3.7 Пример схемы технологического процесса получения магнезии по технологии сухого способа 332
Рис. 3.8 Пути крупного и мелкого магнезита при производстве магнезии 333
Рис 3.9 Принцип действия вращающейся печи с теплообменником при производстве магнезии 334

Рис. 3.10 Принцип действия длинной вращающейся печи при производстве магнезии .. 335
Рис. 3.11 Принцип действия шахтной печи при производстве магнезии 336
Рис 3.12 Принцип действия двухшахтной печи при производстве магнезии 337
Рис. 3.13 Сопоставление различных видов топлива по величине удельных затрат и содержанию серы 347
Рис. 4.1 Технологическая схема двухступенчатой системы рекуперации тепла на основе воды для преобразования энергии на цементном заводе в г. Слите, Швеция 405
Рис. 4.2 Технологическая схема рекуперации отработанного тепла с преобразованием его в электроэнергию на заводе в Ленгфурте, Германия..... 406
Рис. 4.3 Технологическая схема производства цемента в Слите, Швеция 407
Рис. 4.4 Схема размещения системы впрыскивания раствора NH_3 для технологии SNCR на заводе в Слите, Швеция..... 408
Рис. 4.5 Схема размещения системы впрыскивания раствора NH_3 для SNCR на заводе в Скёвде, Швеция 408
Рис 4.6 Выбросы NO_x и потребление аммиачной воды на цементных заводах в Слите и Скёвде (Швеция) с 1995 по 2005 г. 409
Рис 4.7 Выбросы NH_3 и потребление аммиачной воды в двух печах на цементном заводе в Слите, Швеция, с 1994 по 2005 г. 410
Рис. 4.8 Высокоэффективная технология SNCR и участок размещения трубок с 21 по 26 для впрыскивания аммиачной воды 411
Рис. 4.9 Технологическая схема экспериментального завода с технологией SCR в Германии (Solnhofer Portland-Zementwerke) 412
Рис. 4.10 Распределение концентраций мышьяка в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 419
Рис. 4.11 Распределение концентраций кадмия в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 419
Рис. 4.12 Распределение концентраций кобальта в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 419
Рис. 4.13 Распределение концентраций хрома в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 419
Рис. 4.14 Распределение концентраций меди в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 420
Рис. 4.15 Распределение концентраций ртути в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 420
Рис. 4.16 Распределение концентраций марганца в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 420
Рис. 4.17 Распределение концентраций никеля в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 420
Рис. 4.18 Распределение концентраций никеля в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 421
Рис. 4.19 Распределение концентраций сурьмы в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 421
Рис. 4.20 Распределение концентраций селена в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 421
Рис. 4.21 Распределение концентраций олова в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 421
Рис. 4.22 Распределение концентраций теллура в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 422
Рис. 4.23 Распределение концентраций таллия в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 422

Рис. 4.24 Распределение концентраций ванадия в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 422
Рис. 4.25 Распределение концентраций цинка в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 422
Рис 4.26 Принципиальная схема циркуляции нефтяных отходов – от поставки до шахтной печи 431
Рис. 4.27 Насосная станция 2 с фильтром и контейнером для сбора отфильтрованного материала 431
Рис. 4.28 Система для измерения и дозирования с пневматическими клапанами 431
Рис. 4.29 Расположение точек впрыскивания при осуществлении технологии SNCR 436

Список таблиц

Таблица 1.1. Мировое производство цемента по географическим регионам 2
Таблица 1.2. Цементные заводы в странах ЕС..... 4
Таблица 1.3. Распределение цемента по типам на рынке стран ЕС 4
Таблица 1.5. Химический состав серого цемента..... 5
Таблица 1.4. Европейский стандарт на цементы..... 6
Таблица 1.6. Химический состав клинкера белого цемента 8
Таблица 1.7. Использование различных видов топлива для обжига клинкера в странах ЕС..... 8
Таблица 1.8. Химический состав сырьевых материалов и сырьевой смеси для производства цементного клинкера 13
Таблица 1.9. Металлы в сырьевых материалах, сырьевой смеси и угле 13
Таблица 1.10. Примеры химического состава сырьевых материалов для производства белого цемента 14
Таблица 1.11. Химический анализ металлов в угле 17
Таблица 1.12. Типы отходов, используемых в качестве сырьевых материалов в Европейской цементной промышленности..... 21
Таблица 1.13. Список отходов, классифицированных по их химическому составу, используемых в качестве сырьевых материалов в цементных печах 25 стран ЕС..... 22
Таблица 1.14. Различные типы отходов, используемые как топливо для вращающихся печей в 27 странах ЕС в 2003 и 2004 гг. 24
Таблица 1.15. Потребление сырьевых материалов при производстве цемента 47
Таблица 1.16. Элементный состав отходов, использованных в 27 странах ЕС в 2003 и 2004 годах в качестве сырьевых материалов для производства клинкера..... 47
Таблица 1.17. Тепловая энергия, необходимая для сушки сырьевой смеси 48
Таблица 1.18. Удельные расходы тепла при производстве цемента в странах ЕС 49
Таблица 1.19. Сравнение технологий помола на основе ключевых характеристик 51
Таблица 1.20. Калорийность топливных отходов, используемых в странах ЕС 51
Таблица 1.21. Потребление топливосодержащих отходов в цементных печах странах ЕС в 2003 – 2004 годах..... 52
Таблица 1.22. Замещение топлива топливосодержащими отходами для производства цемента странах ЕС 53
Таблица 1.23. Выбросы из цементных печей в странах Европы 55
Таблица 1.24. Типы систем, используемых для улавливания пыли, эксплуатационные показатели и потребление энергии..... 58
Таблица 1.25. Общее время повышения концентрации CO на цементных заводах Германии, вызвавшее отключение электрофильтров 59
Таблица 1.26. Распределение тонкодисперсной пыли в общем количестве пыли на цементных печах в Германии 60
Таблица 1.27. Концентрация пыли в отходящих газах до обеспыливания на цементных заводах Франции 61
Таблица 1.28. Методы обеспыливания и эффективность обеспыливания на заводах Франции..... 61
Таблица 1.29 Концентрация тяжелых металлов в отходящих газах цементных печей с 1968 по 1998 годы..... 80
Таблица 1.30. Структура информации о каждой технологии, описываемой в настоящем разделе..... 95
Таблица 1.31. Обзор технических решений для контроля выбросов пыли в цементном производстве..... 115

Таблица 1.32. Основные характеристики фильтрующих материалов и их стоимость 120
Таблица 1.33. Технические решения для снижения выбросов NO_x, используемые в цементной промышленности стран ЕС 125
Таблица 1.34. Технические решения для снижения NO_x, применяемые в производстве цемента 126
Таблица 1.35. Параметры, выбросы и стоимость технологии каталитического снижения выбросов оксидов азота 141
Таблица 1.36 Обзор технологий контроля и снижения SO_2 143
Таблица 1.37. Технология снижения SO_2, используемая в странах ЕС 144
Таблица 1.38 Пример первичных технических решений для предотвращения проскока CO 151
Таблица 1.39. Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов пыли 157
Таблица 1.40 Стоимость технических решений снижения выбросов NO_x 158
Таблица 1.41. Примеры стоимости технических решений снижения выбросов SO_x 161
Таблица 1.42 Уровни выбросов NO_x из печей в цементной промышленности при использовании НДТ 182
Таблица 1.43 Уровни выбросов SO_x из печей в цементной промышленности при использовании НДТ 182
Таблица 1.44 Уровни выбросов металлов из печей в цементной промышленности при использовании НДТ 185
Таблица 2.1 Известь, многоцелевой материал – использование в некоторых отраслях промышленности 195
Таблица 2.2 Оценочные данные о мировом производстве негашеной извести и доломита в 2006 г. в ЕС-25 (включая технологическую известь) 196
Таблица 2.3 Распределение потребления товарной извести по секторам рынка в странах ЕС-27 в 2004 г. 197
Таблица 2.4 Тенденции использования известняка и доломита в период 2003-2030 гг. 198
Таблица 2.5 Номенклатура извести в соответствии с индексами в реестрах ЕС и CAS 199
Таблица 2.6 Производители товарной извести в странах ЕС-27 с мощностью, превышающей 50 т/сутки (2003 г.) 199
Таблица 2.7 Количество известеобжигательных печей различного типа, действовавших на территории стран –членов ЕС-27 200
Таблица 2.8 Распределение печей для обжига товарной кальциевой и доломитовой извести по странам ЕС-27 201
Таблица 2.9 Распределение топлива, используемого в ЕС-27 в 2003 г., по видам 202
Таблица 2.10 Типичные примеси и рассеянные элементы в известняке 205
Таблица 2.11 Виды топлива, использованные в различных известеобжигательных печах стран ЕС-27 в 2003г 208
Таблица 2.12 Виды горючих отходов, используемых в различных странах 212
Таблица 2.13 Виды жидких и твердых горючих отходов 212
Таблица 2.14 Горючие отходы, используемые в различных печах 213
Таблица 2.15 Эксплуатационные характеристики различных известеобжигательных печей 220
Таблица 2.16 Соотношение между типом печей и видом обжигаемой в них извести 220
Таблица 2.17 Требования различных сегментов рынка к свойствам извести 221
Таблица 2.18 Технические характеристики шахтной пересыпной печи 223
Таблица 2.19 Технические характеристики регенеративных печей с параллельным потоком материала (PFRK) 226

Таблица 2.20 Технические характеристики кольцевых шахтных печей 227
Таблица 2.21 Основные характеристики длинных вращающихся печей 232
Таблица 2.22 Основные характеристики эксплуатации вращающихся печей с запечным теплообменником 234
Таблица 2.23 Расход тепла и электроэнергии в печах различной конструкции при производстве кальциевой и доломитовой извести в странах ЕС-27 240
Таблица 2.24 Примеры характерных выбросов европейских известеобжигательных печей 243
Таблица 2.25 Факторы, влияющие на выбросы CO_2 из известеобжигательных печей различного типа 251
Таблица 2.26 Средние значения выбросов ПХДД и ПХДФ различных печей стран ЕС-27 255
Таблица 2.27 Типичные выбросы HCl и HF различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27 255
Таблица 2.29 Данные о качестве отходов нефти, используемых в шахтных печах германского предприятия 257
Таблица 2.30 Результаты измерений выбросов шахтных печей германских предприятий, использующих отходы нефти 257
Таблица 2.28 Количество предприятий в странах ЕС-27 с различным уровнем выбросов металлов 259
Таблица 2.31 Результаты непрерывных измерений, выполненных на вращающейся печи, использующей твердое топливо 260
Таблица 2.32 Результаты периодических (2006 г.) измерений выбросов вращающейся печи, использующей твердое топливо 260
Таблица 2.33 Информационное содержание каждого из рассмотренных в данном разделе сочетаний метода подхода и используемого технического решения 263
Таблица 2.34 Обзор методов и технических решений, которые возможно использовать для снижения выбросов при производстве извести 264
Таблица 2.35 Методы, направленные на повышение эффективности энергопотребления известеобжигательных печей 266
Таблица 2.36 Обзор технических решений для контроля выбросов пыли на известковых заводах 273
Таблица 2.37 Стоимость инвестиций и эксплуатационные расходы на пылеосадительное оборудование 283
Таблица 2.38 Соотношение различных видов затрат, определяющих расходы на эксплуатацию обеспыливающего оборудования 285
Таблица 2.39 Обзор мероприятий по снижению выбросов NO_x в известковой промышленности 285
Таблица 2.40 Теоретические экспериментальные данные процесса с SNCR 290
Таблица 2.41 Теоретический температурный интервал и степень восстановления с использованием SCR 292
Таблица 2.42 Уровни использования в известковой промышленности тепловой энергии, связанные с применением НДТ 307
Таблица 2.43 Связанные с использованием наилучшей доступной технологии выбросы NO_x в печных дымовых газах известкового производства 311
Таблица 2.44 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов SO_x с дымовыми печными газами обжига извести 312
Таблица 2.45 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов CO с дымовыми печными газами обжига извести 312
Таблица 2.46 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов TOC с дымовыми печными газами обжига извести 313

Таблица 2.47 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов металов с дымовыми печными газами обжига извести 315
Таблица 2.48 Состав дымовых газов по результатам мониторинга в течение нескольких часов 318
Таблица 3.1 Мировое производство магнезита в 2000-2005 гг. 323
Таблица 3.2 Мировое производство обожженного оксида магния/магнезии в 2003 г. 324
Таблица 3.3 Производство обожженного оксида магния в странах ЕС-27 325
Таблица 3.4 Добыча магнезита и производство оксида магния по технологии сухого способа в странах ЕС-25 в 2003 г. 325
Таблица 3.5 Количества магнезии и диоксида углерода, образующиеся при разложении магнезита 338
Таблица 3.6 Выход из магнезита магнезии и диоксида углерода 339
Таблица 3.7 Расход топлива, необходимого для получения 1 т магнезии 339
Таблица 3.8 Примеры соотношения гранулометрии и содержанием в сырье серы 340
Таблица 3.9 Концентрация выбросов при производстве оксида магния в странах ЕС-27 341
Таблица 3.10 Информационное содержание каждого из рассмотренных в данном разделе сочетаний метода подхода и используемого технического решения 343
Таблица 3.11 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов SO_x с дымовыми печными газами печей производства оксида магния 365
Таблица 4.1 Группировка горючих отходов ЦЕМБЮРО согласно Европейскому каталогу отходов 384
Таблица 4.2 Виды и количества отходов и горючих отходов, используемых в печах германских цементных заводов в 2004 г. 389
Таблица 4.3 Количество различных горючих отходов, использованных в немецкой цементной промышленности, содержащих опасные вещества 389
Таблица 4.4 Допустимые содержания химических элементов в использованных промышленных отходах и растворителях 390
Таблица 4.5 Результаты измерений выбросов на печи немецкого цементного завода, использующего в качестве топлива горючие отходы (средние данные за трехсуточный период) 391
Таблица 4.6 Результаты мониторинга выбросов из печи немецкого цементного завода, использующего горючие отходы 391
Таблица 4.7 Перечень требований к отходам, используемым в качестве топлива на эстонском цементном заводе 392
Таблица 4.8 Анализ характеристик материала, полученного сплавлением с нефтяным сланцем 392
Таблица 4.9 Требования к характеристикам качества отхода, используемого в качестве топлива на эстонском цементном заводе 393
Таблица 4.10 Потребление горючего отхода в качестве топлива на эстонском цементном заводе 394
Таблица 4.11 Предельные значения содержания химических элементов в разрешениях и регламентах на использование отходов в Австрии, Швейцарии и Германии 394
Таблица 4.12 Примеры предельных значений характеристик горючих отходов, допустимых в различных странах 395
Таблица 4.13 Примеры предельных значений концентраций примесей в отходах, используемых в качестве сырья, допустимых в различных странах 396
Таблица 4.14 Примеры изменения концентраций металлов в горючих отходах 397
Таблица 4.15 Примеры концентрации металлов при использовании отходов в печах германских цементных заводов 397

Таблица 4.16 Примеры допустимых концентраций (максимальные значения) химических элементов при использовании отходов на австрийских цементных заводах..... 398
Таблица 4.17 Примеры допустимых концентраций (средние и 80 % значения) химических элементов при использовании отходов на австрийских цементных заводах..... 398
Таблица 4.18 Примеры концентраций веществ в отходах, используемыми в качестве топлива на цементных заводах Франции 399
Таблица 4.19 Примеры концентраций веществ в отходах, используемыми в качестве топлива на цементных заводах Испании и Польши 401
Таблица 4.20 Максимальная концентрация примесных веществ в отходах 401
Таблица 4.21 Потребление топлива в австрийской цементной промышленности 401
В табл. 4.22 приведены величины выбросов эстонского цементного завода в 2006 г. ... 402
Таблица 4.23 Выбросы пыли фракций «10» и «2,5» мкм ирландскими цементными заводами..... 403
Таблица 4.24 Количество загрязняющих веществ в сточных водах эстонского цементного завода 404
Таблица 4.25. Основные показатели эксплуатации установки с технологией SCR в Германии 414
Таблица 4.26. Сравнение затрат на технологию борьбы с выбросами NO_x на установке с SNCR и на установке с SCR по данным Германского UBA 414
Таблица 4.27 Расчёт стоимости снижения выбросов NO_x технологией SCR на немецком цементном заводе мощностью 1500 т/сутки..... 415
Таблица 4.28 Примеры первичных мероприятий по предотвращению проскоков CO в электростатический осадитель..... 418
Таблица 4.29 Пример состава сырья венгерского известкового завода..... 423
Таблица 4.30 Типичные загрязняющие вещества, вносимые нефтяными отходами, животными жиром и мукой при использовании их в качестве топлива на германских известковых..... 423
Таблица 4.31 Пределы допустимого среднего и максимального содержания загрязняющих веществ при использовании различных отходов на немецких известковых заводах..... 424
Таблица 4.32 Эксплуатационные характеристики и удельные затраты энергии австрийских известеобжигательных печей в 2004 г. 425
Таблица 4.33 Затраты энергии в различных типах известеобжигательных печей в Испании 425
Таблица 4.34 Типичные примеры выбросов известеобжигательных печей в Германии. 426
Таблица 4.35 Примеры выбросов из известеобжигательных печей стран ЕС..... 426
Таблица 4.36 Выбросы из австрийских известеобжигательных печей 427
Таблица 4.37 Выбросы в период 1999-2006 гг. пыли, NO_x, SO_x, CO и CO_2 нескольких финских заводов, оснащенных печами различной конструкции..... 429
Таблица 4.38 Выбросы металлов финскими известковыми заводами 430
Таблица 4.39 Перечень отходов, которые можно использовать в качестве топлива в немецких известеобжигательных печах 432
Таблица 4.40 Средние и максимальные концентраций металлов в различных видах используемых в качестве топлива отходах 433
Таблица 4.41 Средние и максимальные значения истинной теплотворной способности используемых в качестве топлива отходов 433
Таблица 4.42 Примеры мероприятий, направленных на гарантирование качество отходов 434

Область охвата данного документа

Настоящий документ предназначен для отрасли промышленности, уточненной в разделе 3.1 Приложения 1 Директории 2008/1/ЕС, а именно:

"3.1. Установки для производства цементного клинкера во вращающихся печах производительностью свыше 500 тонн в сутки, извести во вращающихся печах мощностью свыше 50 тонн в сутки или в других печах производительностью выше 50 т/сутки".

Настоящий документ охватывает процессы, включающие производство цемента, извести, а также использование сырьевых материалов и /или топлива.

Дополнительно настоящий документ охватывает производство оксида магния сухим способом с использованием природного магнезита (карбонат магния $MgCO_3$).

Мокрый способ, использующий хлорид магния в качестве исходного материала, в настоящем документе не рассматривается из-за различия в структуре технологического процесса, техники и сырьевых материалов. Этот процесс рассматривается в Справочном документе по НДТ для крупнотоннажных производств неорганических химических веществ (LVIC-S) [108].

Директива по сжиганию отходов [59] определяет (в статье 3, пункт 5) заводы по сжиганию отходов как стационарные, так и мобильные установки, главной целью которых является генерация энергии или производство продукции, и:

- которые используют отходы как основное или дополнительное топливо; или
- в которых отходы подвергаются термической обработке с целью их дальнейшего размещения и складирования.

Однако цементная промышленность способна использовать:

- топливные отходы со значительной калорийностью; и
- отходы, не обладающие значительной калорийностью, но содержащие минеральные компоненты, используемые как сырьевые материалы для получения промежуточного продукта – портландцементного клинкера; и
- отходы, которые имеют и значительную калорийность, и высокое содержание минеральных компонентов [104].

Поэтому термин "совместное сжигание " не достаточно адекватно для целей настоящего документа, поскольку он не охватывает все применения отходов в цементной отрасли. Термин "использование отходов как топлива/или сырьевого материала" используется, чтобы охватить все три упомянутых выше процесса.

В дополнение к основной производственной деятельности трех вышеупомянутых отраслей промышленности, то есть производству цемента, извести, оксида магния, настоящий документ охватывает связанную с ними деятельность, которая может влиять на выбросы и загрязнения. Так настоящий документ включает деятельность от подготовки сырьевых материалов до получения конечных продуктов.

Некоторые производства не охвачены данным документом, потому что считается, что они не связаны напрямую с первичным производством. Например, не рассматриваются разработка карьера и шахтные печи для выпуска цементного клинкера.

Описаны следующие основные операции, охватываемые настоящим документом:

- сырьевые материалы – хранение и подготовка;
- топливо – хранение и подготовка;
- использование отходов в качестве сырьевых материалов / или топлива, требования к качеству, контроль и подготовка;
- печные системы, процессы обжига и технологии снижения выбросов;

- продукция – хранение и изготовление;
- упаковка и отгрузка продукции.

Следует заметить, что в 2006 году для промышленного сектора, охватываемого настоящим документом (цемент, известь, оксид магния) данные были собраны для 25 стран ЕС. В дальнейшем, в 2007 году, информация и данные были частично дополнены данными для 27 стран ЕС.

Структура настоящего документа

Поскольку рассматриваемые продукция и процессы различаются, структура настоящего документа представлена в следующем виде:

Предварительная часть: краткое содержание, предисловие, область охвата данного документа
Глава 1 Основное описание цементной промышленности включающей основную часть, процессы, перспективные технологии, а также финальную часть с выводами и рекомендациями
Глава 2 Основное описание известковой промышленности, включая основную часть, процессы, перспективные технологии, а также финальную часть с выводами и рекомендациями
Глава 3 Основное описание производства оксида магния сухим способом, включая основную часть, процессы и перспективные технологии, а также финальную часть с выводами и рекомендациями
Дополнительная часть: ссылки, словарь, приложения

Внутри глав 1 – 3 представлены стандартные разделы Справочного документа по НДТ, как описывается в Предисловии.

1. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТА

1.1. Общая информация о производстве цемента

Цемент – это тонкодисперсный неметаллический неорганический порошок, который при перемешивании с водой образует пасту, которая схватывается и твердеет. Это гидравлическое твердение происходит благодаря образованию гидратов силикатов кальция как результат реакции между водой и составляющими цемента. В случае алюминатных цементов гидравлическое твердение приводит к формированию гидратов алюминатов кальция.

Цемент – базовый материал для строительства и возведения гражданских инженерных сооружений. В Европе использование цемента и бетона (смесь цемента, заполнителя, песка и воды) для строительных работ прослеживается с античных времен. Портландцемент, широко применяемый в бетонных конструкциях, был запатентован в 1924 году. Мощность цементной промышленности напрямую зависит от строительного бизнеса и поэтому четко отражает экономическую ситуацию.

Как показано на рис.1.1, мировое производство цемента уверенно растет с 1950 года с увеличением производства в развивающихся странах, особенно в Азии, показывающих львиную долю роста в мировом производстве цемента в 1990-х годах.

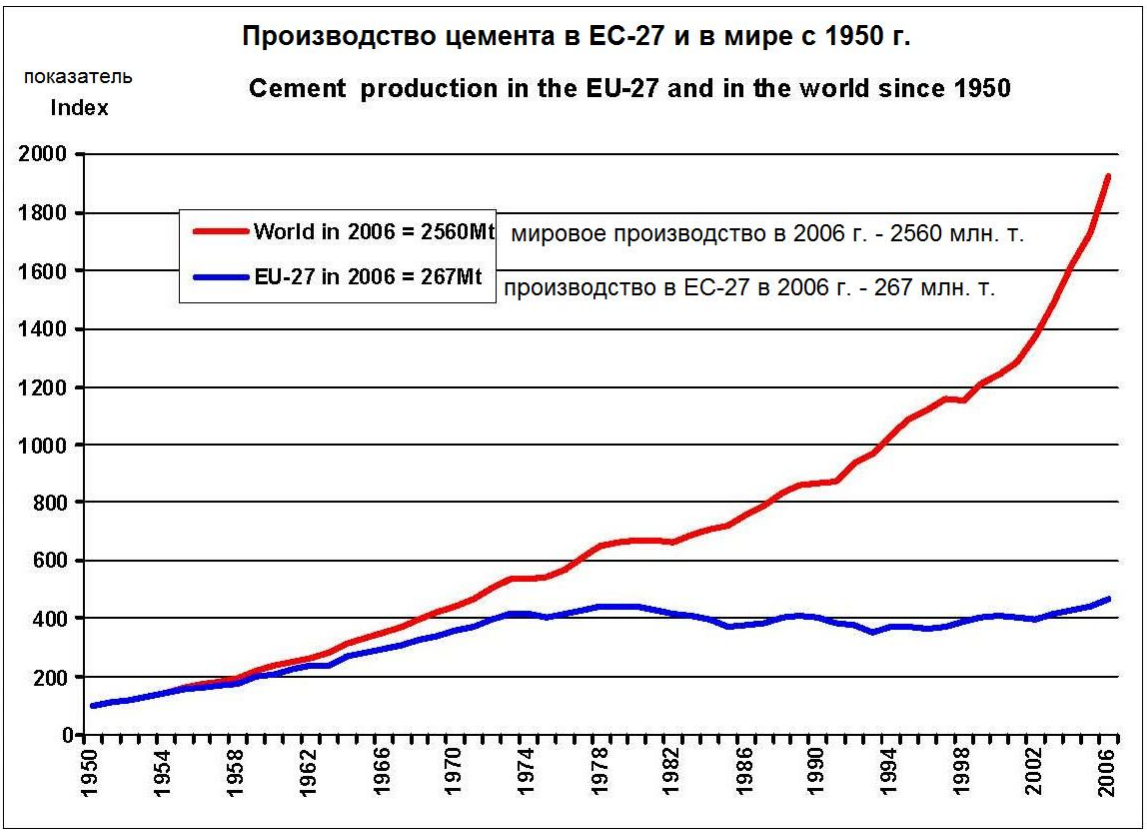

Рис.1.1. Производство цемента в странах Европейского Сообщества и мире с 1950 до 2006 года [72, 168]

В 2006 году производство цемента достигло 2540 миллионов тонн. Табл.1.1. показывает распределение цементного производства по географическим регионам.

Производители в странах ЕС увеличили выпуск цемента на одного человека (душу населения) с 1700 т. в 1970 г. до 3500 т в 1991 г. Это увеличение производительности является результатом введения в эксплуатацию крупномасштабных производств. Они используют развитую автоматизацию производства и поэтому требуют меньший, но более высоко квалифицированный штат работников. Количество работающих в цементной промышленности в странах ЕС составляло 54000 человек в 2005 году. Рис.1.2 показывает при-

мерное количество работающих в цементной промышленности ЕС с 1975 по 2005 годы и величину занятости в 25 ведущих европейских государствах. Эта величина, относящаяся ко времени до 1991 г., не включает бывшую Восточную Германию.

Таблица 1.1. Мировое производство цемента по географическим регионам [72]

Регион	Единица изм.	2006 г.	Регион	Единица изм.	2006 г.
Китай	%	47.4	США	%	3.9
Индия	%	6.2	Остальная Америка	%	5.8
Япония	%	2.7	Африка	%	4.0
Остальная Азия	%	13.2	Страны СНГ	%	3.4
Страны ЕС	%	10.5	Океания	%	0.4
Остальная Европа	%	2.9			

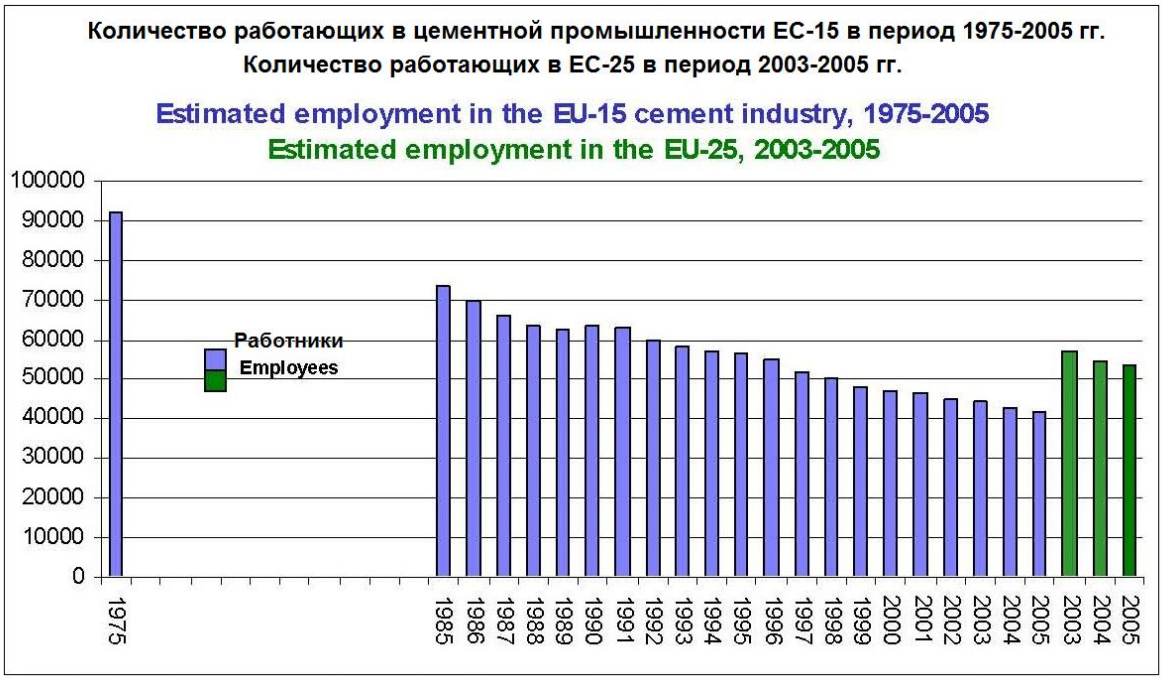

Рис.1.2. Численность работающих в цементной промышленности

в ЕС с 1975 до 2005 г. [72]

В 2006 году производство цемента в 25 ведущих европейских странах в целом составляло 267.5 миллион тонн, а его потребление 260.6 миллион тонн. 38 миллионов тонн цемента было импортировано и 32 миллиона тонн экспортировано. Эти показатели включают торговлю между странами ЕС.

Производство и потребление цемента в 25 ведущих европейских странах в 2005 г. показано на Рис.1.3.

Наиболее крупными производителями цемента в мире являются компании Lafarge, Holcim, Cemex, HeidelbergCement и Italcementi. Часть выпущенного цемента эти компании диверсифицируют в производство других строительных материалов, таких, как заполнители, бетонные изделия, штукатурные смеси и т.д.

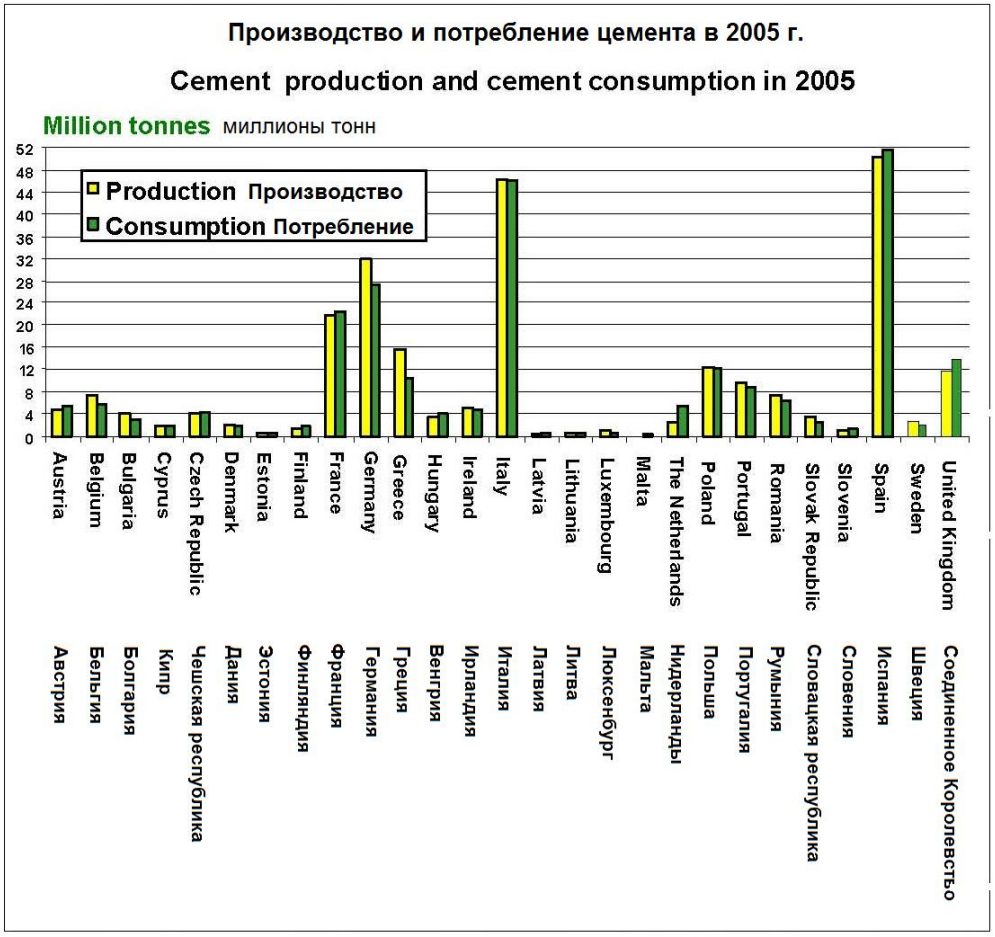

Рис.1.3. Производство (включая клинкер на экспорт) и потребление цемента в 25 ведущих европейских странах [72]

Цемент в основном доставляется потребителям автотранспортом, но имеется ограничения в расстоянии доставки, выше которых нормальная транспортировка по дорогам влияет на стоимость цемента. Максимальное приемлемое расстояние находится в пределах 200 – 300 км. Однако, когда цементные заводы расположены недалеко от побережья (море, внутренние водные пути), обычное расстояние доставки цемента может быть увеличено. К тому же, при наличии доступа к железнодорожным путям, доставка цемента в определенных случаях на более длинные расстояния осуществляется с использованием этого вида транспорта. При наличии глобальной торговли во всем мире при некоторых обстоятельствах экономически более целесообразно осуществлять транспортировку цемент морским транспортом от завода, находящегося на побережье. Наличие цементного терминала (плавучий терминал) содействует увеличению импорта цемента на Европейский рынок из других стран, не входящих в ЕС. Международная конкуренция является угрозой в основном для отдельных заводов, однако увеличение импорта цемента из Восточной Европы оказывает влияние на рынок и внутри самого Европейского Сообщества. По различным оценкам в 2007 году в Греции, Италии, Португалии, Испании, Франции и Соединенного Королевства рынок был открыт для импорта цемента. Эти регионы составляют 60 % объема производства цемента в странах ЕС. Дания, Норвегия и Швеция также являются импортерами цемента. В 2005 году импорт цемента в страны ЕС из стран, не имеющих проблем с квотами на выброс диоксида углерода, составил 15.5 миллион тонн в сравнении 13.5 миллион тонн в 2004 году.

В странах ЕС имеется 268 установок, производящих цементный клинкер и цемент. В дополнении к ним имеются два клинкерных завода без мельниц для помола цемента и 90 заводов по измельчению цемента (помольные установки) без печного отделения (помольные установки без печного отделения не охватываются настоящим документом), как показано в Табл.1.2.

На цементных заводах стран ЕС имеется 377 печей для обжига клинкера. Однако не все печи в настоящее время эксплуатируются. В последние годы типичная производительность печи составляет около 3000 тонн в сутки и хотя печи широко различаются по размерам и срокам ввода в эксплуатацию, имеется очень мало печей с производительностью менее 500 тонн в сутки.

В 2007 году в странах ЕС около 90 % цемента было произведено по сухому способу, 7.5% – по полусухому или полумокрому, остальные 2.5% – по мокрому способу. Выбор способа производства определяется в основном природой сырьевых материалов.

Таблица 1.2. Цементные заводы в странах ЕС [72]

Государство ЕС	Цементные заводы полного цикла	Цементные заводы для помола цемента
Бельгия *)	5	4
Болгария	5	-
Чешская Республика	6	1
Дания	1	-
Германия	38	20
Эстония	1	-
Ирландия	4	-
Греция	8	-
Испания	37	13
Франция	33	6
Италия	59	35
Кипр	2	-
Латвия	1	-
Литва	1	-
Люксембург *)	1	1
Венгрия	1	1
Мальта	1	-
Нидерланды	1	2
Австрия	9	3
Польша	11	1
Португалия	6	2
Румыния	8	1
Словения	2	-
Словакия	2	-
Финляндия	2	-
Швеция	3	-
Великобритания	14	1
Всего:	268	90
*) включая завод по обжигу клинкера		

Европейский стандарт (EN 197-1) для цементов общестроительного назначения включает 27 различных типов цемента, объединенных в пять групп. Дополнительно имеется ряд специальных цементов, предназначенных для особого применения. Европейский стандарт цемента представлен в Табл.1.4, а в Табл.1.3 показано распределение рынка цементов по типам в 2005 году в ведущих странах ЕС. Типичный химико-минералогический состав серого цемента представлен в Табл.1.5.

Таблица 1.3. Распределение цемента по типам на рынке стран ЕС [72]

Тип цемента	Единица измерения	2005 год
CEM II Портландцемент с минеральными добавками	%	58.6
CEM I Портландцемент	%	27.4
CEM III Шлакопортландцемент	%	6.4

CEM IV Пуццолановый цемент	%	6.0
CEM V Композиционный цемент и другие типы цемента	%	1.6

Таблица 1.5. Химический состав серого цемента [103]

	Номенклатура IUPAC [1)]	Номер CAS	Номер EC	Мол. формула	Мол. вес	Типичная концентрация (%)	Уровень концентрации (%)
Состав - основные составляющие							
A	Трехкальциевый силикат	12168-85-3	235-336-9	$3CaO \cdot SiO_2$	228	65	40-80
B	Двухкальциевый силикат	10034-77-2	233-107-8	$2CaO \cdot SiO_2$	172	15	10-50
C	Трехкальциевый алюминат	12042-78-3	234-932-6	$3CaO \cdot Al_2O_3$	270	10	0-15
D	Четырехкальциевый алюмоферрит	12068-35-8	235-094-4	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	486	10	0-20
Состав - примеси и добавки							
E[2)]	Оксид кальция	1305-78-8	215-138-9	CaO		1	0-3
F	Оксид магния	1309-48-4	215-171-9	MgO		2	0-5
G	Сульфат калия	10233-01-9	233-558-0	K_2SO_4		1	0-2
H	Сульфат натрия	7757-82-6	231-820-9	Na_2SO_4		0,5	0-1
Количество неспецифичных примесей: Общая концентрация неспецифичных примесей:				<1 масс.%			
Добавки				Нет данных			

[1)] Номенклатура Международного Союза чистой и прикладной химии (IUPAC)

[2)] Оксид кальция в виде свободной извести. CaO также представлен связанным в основные фазы A-B-C-D

Примечание: Цементы, содержащие портландцементный клинкер при взаимодействии с водой, могут выделять растворимые хроматы. Меры предотвращения вредных дерматологических воздействий приведены в директиве Комиссии 2005/53/EC от 16 сентября 2005 г., поправленный Советом директивой 91/414/EEC.

Таблица 1.4. Европейский стандарт на цементы [149]

Основные типы	Наименование цементов		Состав (масс.%[1])										
			Основные компоненты										Вспомогательные компоненты
			Клинкер	Доменный шлак	Микрокремнезем	Пуццолана		Зола-уноса		Обожженныйсланец	Известняк		
						Природные	Глиежи	Силикатная	Высококальциевая				
			K	S	D[2]	P	Q	V	W	T	L[4]	LL[5]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CEM I	Портландцемент	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Портландцемент с добавкой шлака	CEM II/A-S	80-95	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Портландцемент с добавкой микрокремнезема	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Портландцемент с пуццолановой добавкой	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Портландцемент с добавкой золы-уноса	CEM II/A-V	80-94	-	-	-		6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CEM II	Портланд-цемент с добавкой обож-женного сланца	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21 -35	-	-	0-5
	Портланд-цемент с добавкой известняка	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Компози-ционный портланд-цемент	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5
CEM III	Шлако-портланд-цемент	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Пуццола-новый це-мент[3)]	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5
CEM V	Компози-ционный цемент[3)]	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5

1) Значения относятся к сумме основных и вспомогательных компонентов цемента, кроме гипса;

2) Содержание микрокремнезема ограничивается 10%;

3) В композиционном портландцементе (CEM II/A-M и CEM II/B-M), в пуццолановом цементе (CEM IV/A и CEM IV/B) и в композиционном цементе (CEM V/A и CEM V/B) обозначение вида добавок должно быть указано в наименовании цемента;

4) Известняк с содержанием до 50% общих органических соединений;

5) Известняк с содержанием до 20% общих органических соединений.

Кроме серого производятся другие виды цементов, такие, как белый цемент. За исключением цвета этот тип цемента имеет такие же свойства, как и серый цемент. Для производства белого цемента используются только сырьевые материалы, не оказывающие отрицательного воздействия на цвет цемента. В Табл.1.6 приведены некоторые параметры белого цемента, присутствующего на Американском и Европейском рынках. На эти параметры могут оказывать влияние дополнительные требования по степени белизны продукта.

Белизна этого типа цемента является наиболее важной характеристикой. Используются различные методы определения белизны цемента, соответствующие различным национальным стандартам [118, 119].

Таблица 1.6. Химический состав клинкера белого цемента [103, 118, 119]

Характеристики		Белый цемент
Химический состав (%)	SiO_2	22,5-23,8
	Al_2O_3	2,3-6,2
	Fe_2O_3	0,19-0,4
	CaO	66,3-68,0
	MgO	0,48-1,0
	SO_3	0,65-2,8
	F	0,24-0,85
	K_2O	0,12-0,14
Потери при прокаливании (%)		0,50-1,7
Na_2O		0,17
Потенциальный компонентный состав (%)	C_3S ($3CaO\cdot SiO_2$)	69,89
	C_2S ($2CaO\cdot SiO_2$)	19
	C_3A ($3CaO\cdot Al_2O_3$)	8,08
	C_4AF ($4CaO\cdot Al_2O_3\cdot Fe_2O_3$)	1
Удельная поверхность по Блейну ($м^2$/кг)		464

Цементная промышленность является энергоемкой. Расходы на энергию (включая электрическую) составляют около 40 % себестоимости цемента. Традиционно применяемым твердым ископаемым топливом является каменный уголь. Используется также широкий круг других твердых, жидких и газообразных топлив, таких, как нефтяной кек, лигнит, природный газ и нефть (легкое, среднее и тяжелое нефтяное топливо). Дополнительно к этим традиционным видам ископаемого топлива цементная промышленность более 15 лет использует большое количество топливосодержащих отходов (Табл. 1.7).

Таблица 1.7. Использование различных видов топлива для обжига клинкера в странах ЕС [72, 168]

Тип топлива	Ед. изм.	2006 год
Нефтяной кек	%	38.6
Уголь	%	18.7
Нефтяное топливо + уголь (ископаемый)	%	15.7
Нефтяное топливо, включая высоковязкие отходы нефтепереработки	%	3.1
Лигнит или другое ископаемое твердое топливо	%	4.8
Природный газ	%	1.0
Топливосодержащие отходы	%	17.9

Основными выбросами в окружающую среду на цементных заводах являются пыль, оксиды азота (NO_x) и диоксид серы (SO_2). Другими выбросами являются летучие органические соединения, полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны и хлористый водород (HCl). Также обычно рассматриваются выбросы оксида углерода (CO, CO_2) , фтористого водорода (HF), аммиака (NH_3), бензола, толуола, этилбензола и ксилола, полиароматических углеводородов, металлов и их соединений, а также шум и запах.

Традиционные сырьевые материалы и топливо заменяются подходящими топливными отходами и/или биомассой и используются в производственном процессе при выпуске цемента.

Производство цемента является капиталоемким видом промышленности. Стоимость нового цементного завода эквивалентна трехгодичному обороту, что относит цементную промышленность к капиталоемким производствам. Прибыльность цементной промышленности составляет примерно 10 % от товарооборота.

1.2 Процессы и методы, применяемые при производстве цемента

Основной химический процесс производства цемента начинается с разложения карбоната кальция ($CaCO_3$) при температурах свыше 900 ^oC с образованием оксида кальция (CaO или извести) и выделением газообразного диоксида углерода (CO_2); этот процесс известен как кальцинирование. За ним следует процесс клинкерообразования, в котором оксид кальция реагирует при высокой температуре (обычно 1400 – 1500 ^oC) с кремнеземом, глиноземом и оксидом железа, формируя силикаты, алюминаты и ферриты кальция, которые образуют клинкер. Клинкер измельчается или мелется совместно с гипсом и другими добавками, образуя цемент.

Существует четыре основных способа производства цемента – сухой, полусухой, полумокрый и мокрый способы:

- при сухом способе сырьевые материалы измельчаются и сушатся в сырьевой мельнице в виде подвижного порошка. Сухая сырьевая шихта используется для питания печи с циклонным теплообменником или кальцинатором, или, реже, длинной сухой печи
- при полусухом способе сухая сырьевая шихта гранулируется с водой и подается перед печью в колосниковый подогреватель или в длинную печь, оборудованную ячейковыми теплообменниками
- при полумокром способе шлам предварительно обезвоживается фильтрацией. Образующийся на фильтре кек гранулируется методом экструзии и подается либо в колосниковый подогреватель, либо непосредственно в сушилку сырьевого кека для получения сырьевой шихты
- при мокром способе сырьевые материалы (часто с высокой влажностью) измельчаются в присутствии воды с образованием сырьевого шлама. Шлам подается либо непосредственно во вращающуюся печь, либо предварительно в сушилку шлама.

Выбор способа производства в значительной степени определяется состоянием сырьевых материалов (сухие или влажные). Значительная часть мирового производства клинкера базируется на мокром способе. Однако в Европе более 75 % клинкера производится по сухому способу благодаря наличию сухих сырьевых материалов. Мокрый способ является более энергоемким, а потому более затратным. Заводы, использующие полусухой способ, обычно переводятся на сухой способ, если требуется их существенная реконструкция и расширение. Заводы мокрого или полумокрого способа обычно имеют в своем распоряжении только влажные сырьевые материалы, как, например, в Дании или Бельгии и достаточно широко распространены в Соединенном Королевстве.

Все способы производства включают в себя следующие общие процессы:

- сырьевые материалы – хранение и подготовку
- топливо – хранение и подготовку
- использование отходов в качестве сырьевых материалов и (или) топлива, определение их качества, контроль и подготовку
- печную систему, систему сжигания топлива и установки для снижения вредных выбросов
- продукты – хранение и подготовку
- упаковку и отгрузку.

Процесс производства белого цемента аналогичен процессу производства серого портландцемента. Процесс производства включает отбор сырьевых материалов, их хранение и подготовку, хранение и подготовку топлива, обжиг клинкера в печи, его охлаждение с отбеливанием и помол со строгим контролем на всех стадиях производства во избежание загрязнений и нежелательных изменений продукта. Основным технологическим отличием

является совмещение процессов охлаждения и отбеливания. Эта операция необходима и используется для повышения белизны этого специального вида цемента и для придания ему однородной окраски.

Типичная технологическая схема цементного завода представлена на рис. 1.4.

1.2.1 Сырьевые материалы и их добыча

Природные месторождения известняка, мергеля или мела являются источником карбоната кальция. Оксиды кремния, железа и алюминия находятся в различных рудах и минералах, таких как песок, сланец, глина и железная руда.

Добыча всех природных сырьевых материалов включает горные и карьерные работы. Материалы чаще всего добывают открытым способом. Добыча включает следующие операции: бурение, взрывные работы, экскавация, транспортирование и дробление. Полезная информация, касающаяся горных работ и карьера, может быть найдена в справочном документе НДТ «Управление отходами и пустыми породами горнорудной деятельности» [47].

Главные сырьевые материалы – известняк, мел, мергель и сланец или глина доставляются с карьера. В большинстве случаев карьер расположен близко к заводу. После первичного дробления сырьевые материалы транспортируются на цементный завод для хранения и дальнейшей переработки. Другие сырьевые материалы, такие как боксит, железная руда, доменный шлак или литейный (формовочный) песок привозятся из других регионов или других предприятий.

Сырьевые материалы должны иметь химический состав, который бы обеспечивал процесс обжига клинкера и его качество. В Табл.1.8 приведен химический состав сырьевых материалов для получения сырьевой смеси в производстве цемента. Кроме этих главных компонентов сырьевые материалы содержат также ряд металлов, которые перечислены в Табл.1.9.

Отходы также замещают обычные сырьевые материалы. Относительно использования отходов в качестве сырьевых материалов см. раздел 1.2.4.2.

Для производства белого цемента пригодны сырьевые материалы высокой чистоты, содержащие Si – , Ca – и Al – соединения. Сырьевые материалы, например высокочистый известняк, белые глины, каолин, кварцевый песок, полевой шпат, диатомит выбираются с малым количеством железа и марганца. Оксиды металлов влияют на белизну продукта и являются одним из факторов, определяющих их выбор в качестве сырьевых компонентов. Для производства высококачественного белого цемента химический состав сырьевых материалов является чрезвычайно важным; составы некоторых компонентов приведены в Табл.1.10. Однако соотношение этих компонентов необходимо устанавливать в соответствии с требованиями процесса обжига. Чтобы повысить белизну иногда используют минерализаторы в небольшом количестве (2 - 3 масс.%); в некоторых случаях бывает полезным даже 0,1 масс.% минерализатора.

Наиболее известные минерализаторы - это фториды (F), фторосиликаты (SiF_4, Na_2SiF_6), фосфорный шлак и различные формы хлоридов (Cl) [119, 120].

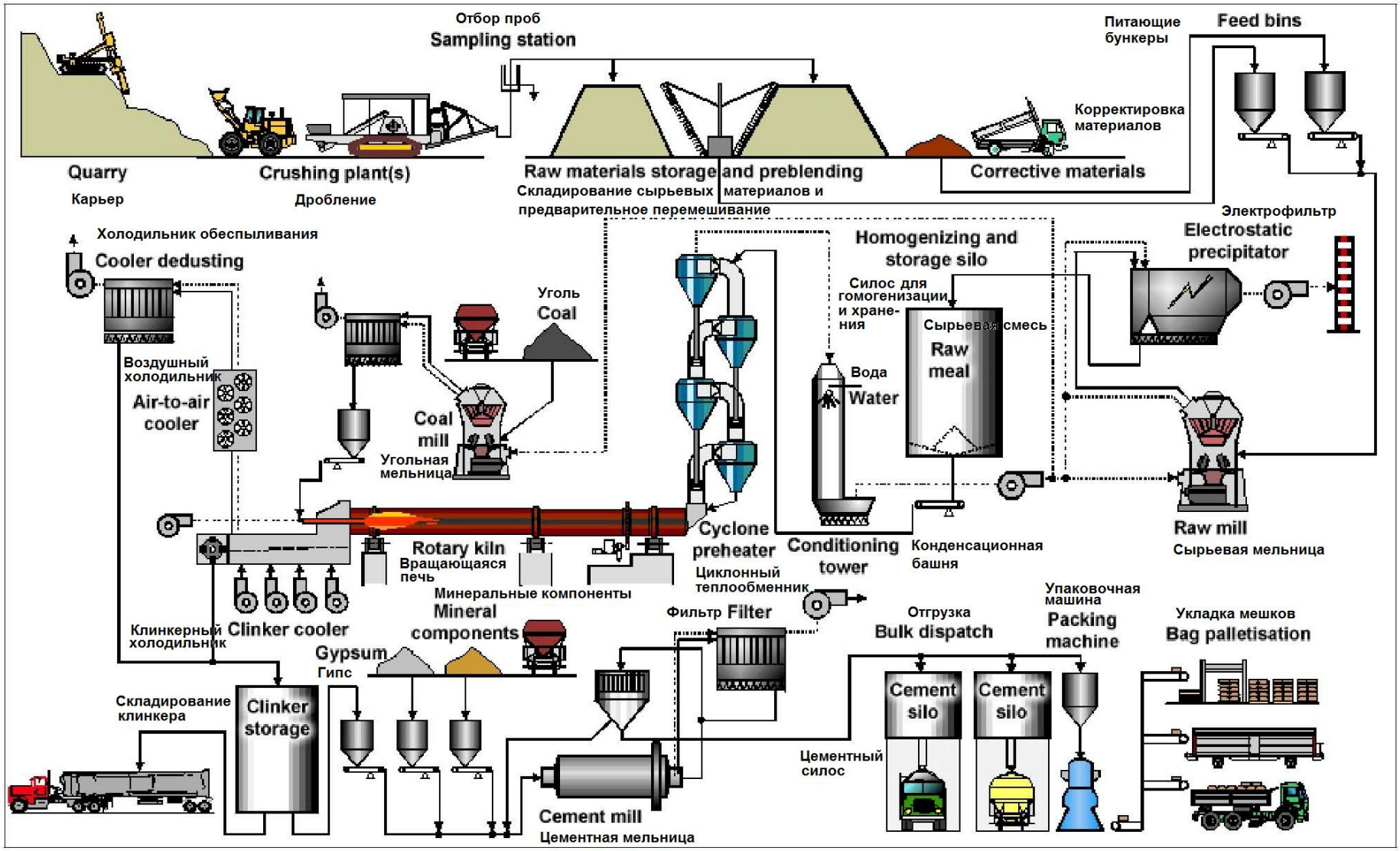

Рис. 1.4. Принципиальная схема производства цемента [103]

Таблица 1.8. Химический состав сырьевых материалов и сырьевой смеси для производства цементного клинкера [60, 81, 90]

Компоненты	**Известняк, мергель, мел**	**Глина**	**Песок**	**Зола-унос[2)]**	**Железосодержащие**	**Сырьевая смесь**
	Содержание, масс. %					
1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	0,5-50	33-78	80-99	40-60	0,5-30	12-16
Al_2O_3	0,1-20	7-30	0,5-7	20-30	0,2-4	2-5
Fe_2O_3	0,2-5,9	4,0-15	0,0-4	5-15	50-93	1,5-2,5
Mn_2O_3	0,02-0,15	0,090	0,051	0,127	0,1-4	0,0-0,5
Fe_2O_3 и Mn_2O_3	0,1-10	2-15	0,5-2		19-95	≤ 2
CaO	20-55	0,2 - 25	0,1-3	2-10	0,1-34	40-45
MgO	0,2-6	0,3-5	0,3-0,5	1,0-3	0,5-7	0,3-5
K_2O	0-3,5	0,4-5	0,2-3	1-5	0,1-1	0,1-1,5
Na_2O	0,0-1,5	0,1-1,5	0,0-1	0,2-1,5	0,1-1	0,1-0,5
SO_3[1)]	0,0-0,7	0,0-4	0,0-0,5	0,0-1	0-3	0-1,5
Cl	0,0-0,6	0,0-1	Следы		0,0-0,5	0,0-0,3
TiO_2	0,0-0,7	0,2-1,8	0,0-0,5	0,5-1,5	0,0-3	0,0-0,5
P_2O_5	0,0-0,8	0,0-1,0	0,0-0,1	0,5-1,5	0,0-1	0,0-0,8
ZrO_2		0,02				
$CaCO_3$	96					
Потери при прокаливании (CO_2 + H_2O), LOI 950[3)]	2-44	1-20	≤5	6,74	0,1-30	32-36

[1)] Общее содержание сульфатов в пересчете на SO_2
[2)] зола
[3)] LOI 950 - потери при прокаливании

Таблица 1.9. Металлы в сырьевых материалах, сырьевой смеси и угле [60]

Элементы		Глина и аргилит	Известняк, мергель, мел	Сырьевая смесь
		мг/кг сухого вещества (DS[1)])		
Сурьма	Sb	Нет данных	1-3	< 3
Мышьяк	As	13-23	0,2 - 20	1-20
Бериллий	Be	2-4	0,05 - 2	0,1-2,5
Свинец	Pb	10-40	0,3-21	4-25
Кадмий	Cd	0,02-0,3	0,04 – 0,7	0,04-1
Хром	Cr	20-109	1,2-21	10-40
Кобальт	Co	10-20	0,5-5	3-10
Медь	Cu	Нет данных	3-12	6-60
Марганец	Mn	Нет данных	≤ 250	100-360
Никель	Ni	11-70	1,5-21	10-35
Ртуть	Hg	0,02-0,15	0,01-0,13	0,01-0,5
Селен	Se	Нет данных	1-10	< 10
Теллур	Te	Нет данных	< 4	< 4
Таллий	Tl	0,7-1,6	0,05-1,6	0,11-3
Ванадий	V	98-170	4-80	20-102

Олово	Sn	Нет данных	< 1 - 5	< 10
Цинк	Zn	59-115	10-40	20-47
[1)] DS: сухое вещество				

Таблица 1.10. Примеры химического состава сырьевых материалов для производства белого цемента [119, 120, 138]

Сырьевые материалы	Содержание оксидов, масс.%						
	Fe_2O_3	MgO	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	Mn_2O_3
Известняк	< 0.15	< 0.015					
Глина	≤ 1.0	следы	65-80	0.8			
Каолин	0.4-1.0	0	70-73	0-0.8	18-20		
Кварцевый песок	≤ 0.2		< 96				
Другие[1)]	< 0.5	< 3.0		< 0.2		< 30 ppm	< 0.05
[1)] Италия							

1.2.2 Сырьевые материалы – хранение и подготовка

Подготовка сырьевых материалов как по химическому составу, так и дисперсности является очень важным этапом процесса производства в зависимости от используемого типа печной системы.

1.2.2.1 Хранение сырьевых материалов

Для хранения сырьевых материалов в зависимости от климатических условий и количества тонкой фракции в дробленом материале необходим крытый склад. Для завода производительностью 3000 т/сутки крытый склад может помещать от 20000 до 40000 т материала. Пример такого склада представлен на Рис. 1.5.

Рис.1.5. Пример крытого склада сырьевых материалов [81]

Сырьевой материал для питания печей должен быть однородным по химическому составу и дисперсности. Это достигается в сырьевом помольном отделении завода. Когда материал на карьере имеет различное качество, предварительное перемешивание достигается укладкой материала в ряды или слоями в штабель вдоль длины (или по окружности) склада с последующей разборкой вкрест простирания штабеля. Когда материал гомогенный, используется система обычной укладки и разборки штабеля.

Сырьевые материалы в относительно небольших количествах, например минеральные добавки, могут складироваться в силосах или бункерах. Некоторые сырьевые материалы с потенциальными вредными свойствами для здоровья людей и окружающей среды, могут быть складированы и приготовлены в соответствии с индивидуальными требованиями.

1.2.2.2 Измельчение сырьевых материалов

Точный отмер и обеспечение количественного соотношения по весу компонентов, подаваемых в мельницу, является важным для постоянства химического состава смеси. Это непременное условие постоянства работы печи и высокого качества продукции. Соблюдение соотношения компонентов является также важным фактором энергетической эффективности помольной системы. Доминирующим оборудованием для обеспечения необходимого соотношения компонентов, подаваемых на мельницу, является пластинчатый весовой питатель с приводным ремнем.

При производстве белого цемента особую тщательность надо проявлять при помоле сырьевых материалов чтобы не допустить попадания в неё различных примесей металлов, приводящих к изменению цвета. При выборе среды измельчения и футеровки мельницы необходимо избежать загрязнения сырьевой смеси железом. Используются специальные стальные или керамические материалы для изготовления изнашивающихся частей оборудования. Для повышение белизны цемента осуществляется контроль влажности сырьевой смеси; время её помола уменьшается путем использования ускорителей помола – поверхностно активных веществ, применение которых, однако, с коммерческой точки зрения может быть неприемлемым. В некоторых случаях рекомендуется использовать оборудование для грануляции на последней стадии приготовления сырьевой смеси, особенно, когда используется печь взвешенного слоя [119, 120].

1.2.2.2.1 Измельчение сырьевых материалов при сухом и полусухом способах

При измельчении сырьевых материалов при сухом и полусухом способах производства контролируют соотношение сырьевых компонентов, измельчают и смешивают их совместно чтобы получить гомогенную смесь с требуемым химическим составом. Для сухого и полусухого способов сырьевые компоненты высушиваются и измельчаются до порошкообразного состояния с использованием в основном печных отходящих газов и/или воздуха из холодильника. Применение сырьевых материалов с относительно высокой влажностью требует их предварительной сушки в специальной сушилке, оборудованной выносной топкой.

Типичная система помола при сухом способе включает:

- шаровую мельницу с центральной разгрузкой;
- шаровую мельницу – сушилку;
- вертикальную роликовую мельницу;
- горизонтальную роликовую мельницу (имеется только несколько действующих установок).

Другие помольные системы имеют меньшее распространение:

- шаровые мельницы с периферийной разгрузкой, работающие в замкнутом цикле;
- мельницы самоизмельчения,
- валки с использованием или без использования предварительного дробления и сушкой.

Распределение частиц по размерам в продукте, выносимом из помольных установок, является очень важным для последующего процесса обжига. Необходимые параметры достигаются применением соответствующего сепаратора, классифицирующего выходящий из мельницы продукт. Для сухого разделения используется воздушный сепаратор. Большей эффективностью обладают новейшие сепараторы роторного типа. К преимуществам помольных установок с такими сепараторами относятся:

- низкое потребление энергии помольной установкой (отсутствие перемола);
- повышенная производительность системы (эффективная сепарация частиц);
- лучшее распределение частиц по размерам и однородность продукта.

1.2.2.2.2 Измельчение сырьевых материалов при мокром и полумокром способе

Мокрое измельчение используется при мокром и полумокром способах производства цемента. Сырьевые компоненты измельчаются с добавлением воды; в результате образуется шлам. Чтобы достичь требуемой тонкости помола шлама и соответственно требуемого качества используются в основном помольные системы замкнутого цикла.

Мокрый процесс предпочтителен, когда сырьевые материалы имеют влажность более 20 % по весу. Такие сырьевые материалы, как мел, мергель или глина, являющиеся мягкими, липкими и имеющие высокую влажность, на первой стадии приготовления могут измельчаться с водой в мельнице самоизмельчения. Вода и размалываемый материал подаются в мельницу, где превращаются в шлам под действием сдвигающих и ударных воздействий при вращении мельницы. Когда достигается определенная тонкость помола материала, он проходит через решетку в стенке мельницы и насосом перекачивается для хранения. Чтобы достичь необходимой дисперсности шлама, обычно требуется его дальнейшее измельчение в трубных мельницах, особенно если используется добавка песка.

Чтобы снизить потребление топлива, количество воды для измельчения материала контролируется так, чтобы ее количество было минимальным для достижения необходимой текучести и прокачиваемости шлама (от 32 до 40 % воды). Химические добавки могут являться разжижителями шлама, снижая его влагосодержание.

1.2.2.2.3 Гомогенизация и хранение сырьевой смеси или шлама

Сырьевая смесь или шлам после измельчения в дальнейшем нуждается в гомогенизации и достижения требуемой консистенции перед ее подачей в печь. Сырьевая смесь гомогенизируется и хранится в силосе, сырьевой шлам - в шламбассейне или в силосе.

Сырьевая смесь транспортируется в силос пневматической и механической системой. Механические транспортеры требуют больших инвестиций, но эксплуатируются с меньшими затратами, чем пневматическая транспортировка. Объединение аэрожелоба, шнекового или цепного транспортера с ковшевым элеватором является в настоящее время наиболее распространенной системой транспортировки.

1.2.3 Топливо – хранение и приготовление

Для обеспечения процесса обжига теплом и требуемой энергией используются различные виды топлива (ископаемого или отходы). Для сжигания в печи используются следующие типы ископаемого топлива:

- твердое топливо, то есть уголь, кокс, каменный бурый уголь, лигнит и в некоторых случаях сланцевое масло;
- жидкое топливо, то есть мазут, включая высоковязкий мазут;
- газообразное топливо, например, природный газ.

Главой составляющей ископаемого топлива, используемого в цементной промышленности Европы, являются нефтяной кек и уголь.

Основным компонентом золы этих топлив являются оксиды кремния и алюминия. Кроме того, зола может содержать следы металлов. При обжиге они в сочетании с сырьевыми материалами становятся частью клинкера. Требуется их учитывать при расчете состава сырьевой смеси и при желании использовать топливо как составляющую сырьевой смеси, хотя при малой зольности в этом нет необходимости. Химический анализ металлов, присутствующих в немецких углях, представлен в Табл.1.11.

Таблица 1.11. Химический анализ металлов в угле [60]

Элементы		Твердый уголь / бурый уголь
		мг/кг сухого вещества (DS[1)])
Сурьма	Sb	0,4-2
Мышьяк	As	1-50
Бериллий	Be	< 0,1-3,3
Свинец	Pb	1,5-273
Кадмий	Cd	< 0,1-10
Хром	Cr	1,5-81
Кобальт	Co	< 1-40
Медь	Cu	1-100
Марганец	Mn	82-250
Никель	Ni	< 1-100
Ртуть	Hg	0,1-3,3
Селен	Se	0,6-2
Теллур	Te	0,2-1
Таллий	Tl	0,1-5,5
Ванадий	V	1-200
Олово	Sn	0,8-2,3
Цинк	Zn	6-220

[1)] DS: сухое вещество

Основными видами технологического топлива, используемыми в Европейской цементной промышленности, являются нефтяной кокс и уголь. Обычно высокая стоимость препятствует использованию природного газа или нефти в качестве технологического топлива, но в целом выбор топлива зависит от местной ситуации (такой, как наличие местного угля). Высокая температура и длительное время пребывание материала в печи создают значительный потенциал для разложения органических веществ. Это обусловливает широкое разнообразие применяемого топлива, по возможности менее дорогого, особенно различных топливосодержащих отходов. В последние годы использование отходов увеличилось (см. раздел 1.2.4.).

Чтобы удержать потери тепла на минимальном уровне, цементные печи должны эксплуатироваться с минимально возможным избытком кислорода. Это требует высокой однородности и точной дозировки топлива, а также придания ему формы для легкого и полного сгорания. Эти условия легко выполняются при использовании жидкого и газообразного топлива. Для порошкообразного твердого топлива в настоящее время применяются современные весовые бункера, конвейеры и питатели. Основная часть подаваемого топлива (65 – 85 %) должно находиться в легко воспламеняемом, хорошо горючем виде, в то время как остальная часть (15 – 35 %) может подаваться в печь в дробленом виде или в виде кусков.

Для производства белого цемента выбор топлива должен осуществляться особенно тщательно чтобы предотвратить взаимодействие золы с клинкером, изменяющим цвет цемента. В 2007 году для производства белого цемента топливные отходы использовались в очень ограниченном количестве.

1.2.3.1 Хранение ископаемого топлива

Ископаемый уголь и нефтяной кокс хранятся так же, как и сырьевые материалы, обычно в крытых складах. Вне склада топливо хранится в больших штабелях для создания долговременных запасов. Такие штабели могут быть засеяны травой, чтобы предотвратить

коррозионное воздействие дождя и снега. При хранении топлива вне склада могут возникнуть проблемы с дренажными водами. Использование бетонных покрытий площадок складирования позволяет осуществлять сбор и очистку таких дренажных вод. Хорошей практикой при длительном хранении является наблюдение за уплотнением штабеля по высоте, особенно когда хранится уголь с высоким содержанием летучих веществ, чтобы предотвратить риск его спонтанного воспламенения при длительном хранении.

Пылевидный уголь и кокс хранятся исключительно в силосах. Из соображений безопасности (опасности взрыва или вспышки из-за электрической искры) эти силосы должны быть должны быть снабжены заземлением и стандартными устройствами безопасности.

Мазут хранится в вертикальных стальных цистернах (резервуарах). Иногда они покрываются слоем теплоизоляции чтобы обеспечить хранение битума при температуре, обусловливающей его прокачиваемость (от 50 до 60 ^{o}C). Они также могут быть оборудованы нагревателями для поддержания необходимой температуры.

Природный газ не хранится на цементном заводе. В роли газового хранилища выступает международная газораспределительная система высокого давления.

1.2.3.2 Подготовка ископаемого топлива

Твердое топливо готовится (дробится, измельчается и сушится) обычно на стороне. Уголь и кокс измельчаются до тонкости помола сырьевой смеси в отделениях цехах, используя такое же оборудование, как и в отделениях по переработке сырья. Тонкость помола топлива имеет важное значение: слишком высокая – температура пламени может быть избыточно большой, слишком низкая – приведет к плохому горению. Низкая летучесть или низкое содержание летучих в твердом топливе требует более тонкого его помола. Если невозможно обеспечить сушку топлива достаточным количеством горячего воздуха из печи или холодильника, необходимо использовать аксиальную топку. Специальные устройства должны применяться для того, чтобы предохранить оборудование от воспламенения и взрыва.

Используются следующие основные типы угольных мельниц:

- трубные мельницы с воздушной разгрузкой измельченного материала;
- вертикальные роликовые или шаровые кольцевые мельницы,
- ударные мельницы.

Измельченное твердое топливо может направляться для сгорания непосредственно в печи, но в современных установках оно обычно хранится в силосах, а для его сжигания применяются термически более эффективные горелки непрямого сжигания, использующие небольшое количество первичного воздуха.

Измельчение твердого топлива, хранение и сжигание должны быть спроектированы и эксплуатироваться таким образом, чтобы предотвратить риск взрыва или воспламенения. Первичные требования для этого состоят в контроле температуры и в предотвращении накопления тонкодисперсного материала в мертвых, застойных зонах, подвергающихся нагреву.

Подготовка мазута: для того, чтобы облегчить дозирование и горение, мазут используется при температуре 120 – 140 ^{o}C, что обеспечивает снижение его вязкости до 10 – 20 сантистоксов. При этом его давление увеличивается до 20 – 40 бар.

Подготовка природного газа: Перед использованием газа его давление в подводящем газопроводе должно быть снижено с 30 – 80 бар до 3 – 10 бар, а затем снижено опять до 1 бара – избыточное давление перед форсункой. Первичное снижение давления осуществляется на газораспределительных станциях, где производят также измерение потребления. Чтобы избежать замерзания оборудования, как результат эффекта Джоуля-Томпсона, природный газ нагревается перед его подачей в клапан, снижающий давление.

Альтернативно снижение давления может быть достигнуто путем пропускания газа через газовую расширяющуюся турбину, связанную с электрогенератором. Таким образом может быть компенсировано некоторое количество энергии, необходимой для сжатия газа.

1.2.4 Использование отходов

Европейская цементная промышленность использует большое количество топливных отходов различного происхождения, которые на некоторых заводах заменяют до 80 % ископаемого топлива. Эта позволяет цементной промышленности содействовать снижению выбросов парниковых газов и экономии природных энергетических ресурсов.

Запрет на захоронение необработанных городских отходов в некоторых странах – членах ЕС привело к увеличению числа заводов по механической и биологической переработке отходов. Соответственно утилизация переработанных отходов является задачей специальных предприятий (концернов). После соответствующей переработки к бытовым или промышленным отходам предъявляются требования по сохранению окружающей среды, совместимые с использованием на цементных заводах. Цементная промышленность 27 стран ЕС в течение многих лет использовала на цементных заводах большое количество таких переработанных отходов. Таким образом промышленность, являющаяся традиционно значительным потребителем природных невозобновляемых ресурсов и ископаемого топлива, внесла свой вклад по использованию отходов для сохранения этих ресурсов без производства, в свою очередь, новых отходов 103, 168].

Поскольку переработка отходов не охватывается настоящим документом, полезная информация по этому вопросу может быть получена в справочном документе по НДТ для промышленности по переработке отходов [48]. Кроме того, должны учитываться требования существующих Европейских и национальных законов, например требования Директивы по сжиганию отходов [59].

1.2.4.1 Общие аспекты

Различные типы отходов могут заменять первичные сырьевые материалы и ископаемое топливо в производстве цемента и будут способствовать сохранению природных источников. Обжиг клинкера сам по себе является процессом, дающим прекрасные возможности для утилизации отходов с целью снижения материало- и энергозатрат. Наиболее важные показатели процесса для утилизации отходов могут быть обобщены следующим образом:

- максимальные температуры приблизительно 2000 ^{o}C (основная горелка, температура пламени) во вращающихся печах;
- время пребывания газов при температуре около 1200 ^{o}C во вращающейся печах не менее 8 с.;
- температура материала около 1450 ^{o}C в зоне спекания вращающейся печи;
- окислительная газовая атмосфера во вращающейся печи;
- время пребывания газов во вторичной обжиговой системе более 2 с. при температуре выше 850 ^{o}C; в декарбонизаторе время пребывания газов ещё больше и температура выше;
- постоянная температура 850 ^{o}C во вторичной обжиговой системе или декарбонизаторе
- постоянство условий сжигания и отсутствие колебаний вследствие высокой температуры и достаточно длительного времени пребывания;
- разложение органических загрязнителей под воздействием высокой температуры и длительного времени пребывания,
- адсорбция газовых компонентов, таких как HF, HCl, SO_2 на щелочных реагентах;
- высокая емкость связывания тяжелых металлов;

- короткое время пребывания отходящих газов в температурном интервале, способствующем синтезу полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов;
- полная утилизация топливной золы в составе клинкера и, следовательно, повторное использование материала в качестве сырьевого компонента и дополнительная экономия энергии;
- специфические отходы не производятся в связи с их полным связыванием в клинкерную матрицу; однако, некоторые цементные заводы в Европе вынуждены избавляются от пыли байпасной системы;
- химико-минералогическое связывание тяжелых металлов в клинкерную матрицу [60, 76, 168].

Исследования показывают, что вредные вещества лучше адсорбируются материалом и клинкером во вращающихся печах, чем в печах другого типа, например, в шахтных [75, 76].

Большое количество различных типов отходов применяется в качестве сырьевых материалов и/или топлива. Перед тем как принять решение о применении отходов, должны быть рассмотрены основные принципы их использования, такие, как предварительная сортировка и обширный анализ технологических процессов по их подготовке. Испытания отходов должны быть выполнены для того, чтобы сохранить стандартное качество клинкера, так как топливная зола полностью захватывается клинкером. Окончательное решение о том, какой тип отходов будет принят к использованию на конкретном заводе, не может быть однотипным.

Рассмотрение и принятие решения должно быть основано на процессе производства клинкера, режимах обжига, составе сырьевых материалов и топлива, способах подачи отходов в производство, используемой технологии очистки отходящих газов, данных по проблемам менеджмента отходов и требованиях существующей Европейской и национальной системы технического регулирования, если возникают какие-либо проблемы в управлении отходами, например, Директивы по сжиганию отходов [59].

Как правило, для отходов, принятых в качестве топлива и/или сырьевых материалов для цементной печи, необходимо учитывать:
- калорийность отходов;
- количество минеральной части в отходах.

Кроме того, должны учитываться объемы и категории отходов, а также их физический и химический состав, характеристики и загрязняющие примеси. Топливные отходы, используемые цементной промышленностью, являются частью, специально отобранной из отходов, которые обычно предварительно перерабатываются, например, дробятся, перемешиваются, измельчаются, гомогенизируются и приводятся в материал соответствующего качества. Подготовка отходов обычно выполняется на специальных заводах по предварительной переработке отходов.

Точки ввода отходов в печь

Отходы, используемые в качестве сырьевых материалов, обычно подаются в печь в том же месте, где производится подача обычных сырьевых материалов, например, по месту подачи сырьевой смеси.

Как описано в разделе 1.2.5.1, различные точки питания могут быть использованы для ввода топлива в цементную печь. Эти точки также могут быть использованы для питания отходами как топливом и/или сырьевыми материалами. Следует отметить, что способ питания печи топливом является очень важным, поскольку он может оказать влияние на выбросы. Имеется в основном одно место, в котором происходит разложение отходов при прохождении через высокотемпературную зону печи, а именно – при подаче топлива через главную горелку. Относительно других точек подачи топлива можно отметить, что в

этих случаях температура и время пребывания зависят от конструкции печи и ее эксплуатации, как описано выше.

Отходы, которые подаются через главную горелку, будут разлагаться в первичной зоне горения при высокой температуре, достигающей 2000 ^{o}C. Отходы, подаваемые во вторичную горелку, подогреватель или декарбонизатор, будут сжигаться при низкой температуре, которая не всегда достаточна для разложения хлорсодержащих органических веществ. Летучие компоненты в материале, который подается в холодный конец печи или отдельный участок печи, могут улетучиваться. Эти компоненты не проходят через первичную зону горения и не могут быть разложены или связаны в цементный клинкер. Поэтому использование отходов, содержащих летучие металлы (ртуть, таллий) или летучие органические компоненты может приводить к увеличению выбросов указанных соединений, когда используются неправильные точки ввода отходов. Чтобы избежать увеличения выбросов, такие отходы, содержащие летучие при низкой температуре компоненты (например, углеводороды), должны подаваться в высокотемпературную зону печи.

Энергетическая эффективность использования топливных отходов

Цементная промышленность достигла улучшения энергетической эффективности использования топлива в производственном процессе и должна способствовать дальнейшему повышению эффективности, прибегая к альтернативным средствам, одним из которых является использование горючих отходов. Однако, чтобы получить повышение энергетической эффективности и положительный вклад в термический процесс, важным качественным показателем топливных отходов является их теплотворная способность [76, 89, 103].

Воздействие на окружающую среду при использовании отходов

Информация о воздействии отходов на состояние выбросов представлена в разделе 1.3.4.13, а на качество продукции – в разделе 1.3.4.14 настоящего документа.

Контроль параметров и выбросов при использовании отходов в качестве топлива и /или сырьевых материалов представлен в разделе 4.2.1. настоящего документа.

1.2.4.2. Использование отходов в качестве сырьевых материалов

Химическая пригодность отходов как сырьевых материалов является важным; они должны обеспечивать требуемый состав производимого клинкера. Первичными необходимыми химическими соединениями являются материалы, содержащие известь, кремний, алюминий и железо, а также серу, щелочи и другие элементы, которые должны быть классифицированы по группам в соответствии с их химическим составом. При использовании отходов оксиды, содержащие в отходах, связываются в процессе обжига в клинкер, как и в случае обжига сырьевых материалов. Они включают, как и сырьевые материалы, оксиды кальция (CaO), кремния (SiO_2), алюминия (Al_2O_3) и железа (Fe_2O_3). Зола электростанций (зола-унос), доменный шлак и другие остатки сгорания могут частично заменять природные сырьевые материалы. Табл. 1.12 показывает отходы, наиболее часто используемые как сырьевые материалы в производстве цемента в Европе в 2006 г.

Таблица 1.12. Типы отходов, используемых в качестве сырьевых материалов в Европейской цементной промышленности [8, 9].

Зола-унос	Доменный шлак	Микрокремнезем

Сталеплавильный шлак	Шламы бумажного производства	Пиритные огарки
Формовочный литейный песок	Нефтьсодержащие грунты	
Синтетический гипс (отход десульфуризации газов и производства фосфорной кислоты)		

Другие отходы, так называемые «добавки при измельчении», поставляются на заводы, где производится измельчение или смешивание. Зола – унос может применяться как сырьевой материал при получении клинкера (в основном, как компонент, содержащий оксид алюминия) и как добавка при измельчении при производстве цемента. Она может заменять до 50 % портландцементного клинкера. Более того, современные побочные продукты производства гипса пригодны сами по себе для использования в качестве сульфатного компонента. В Табл. 1.13 показаны отходы, применяемые как сырьевой материал, распределенные по различным группам в соответствии с их химическим составом.

Таблица 1.13. Список отходов, классифицированных по их химическому составу, используемых в качестве сырьевых материалов в цементных печах 25 стран ЕС [76, 91, 103]

Группа сырьевых материалов	Отходы, применяемые в качестве сырьевых материалов
1	2
Ca – группа	Промышленная известь (отходы известняка) Известковый шлам Шлам карбида кальция Осадок очистки питьевой воды
Si – группа	Формовочный литейный песок Песок
Fe – группа	Доменный и конверторный шлак Пиритные огарки Синтетический гематит Красные шламы
Al – группа	Промышленные шламы
Si-Al-Ca – группа	Зола-унос Шлаки Мелкие отсевы дробления, земля (грунт)
S – группа	Промышленные гипсовые отходы
F – группа	CaF_2 , шламы после фильтрации

Подобно золе из обычного топлива зола топливных отходов обеспечивает получение минералов клинкера. Тройная диаграмма на Рис. 1.6 показывает состав зол различных топлив и отходов, содержащих главные оксиды CaO, SiO_2, Fe_2O_3 и Al_2O_3, используемых как сырьевые материалы. Как показано, клинкер имеет определенный состав, который предопределяет гидравлические свойства цемента. Это означает, что все сырьевые материалы и зола топлива должны быть тщательно подобраны по минеральному составу и скорости подачи, чтобы получить заданный состав клинкера.

Отходы, используемые как сырьевые материалы, поступают в процесс обжига клинкера или кальцинатор с сырьевой смесью, проходя через входной патрубок в печь. В период нагревания в подогревателе органические компоненты могут высвобождаться из печного питания при низкой температуре, которая не всегда достаточна для разложения галогенсодержащих органических веществ. Когда отходы перерабатываются, они должны быть проверены на потенциальную возможность выделения органических соединений и соответственно выбрана точка введения материала в печь, то есть горелка.

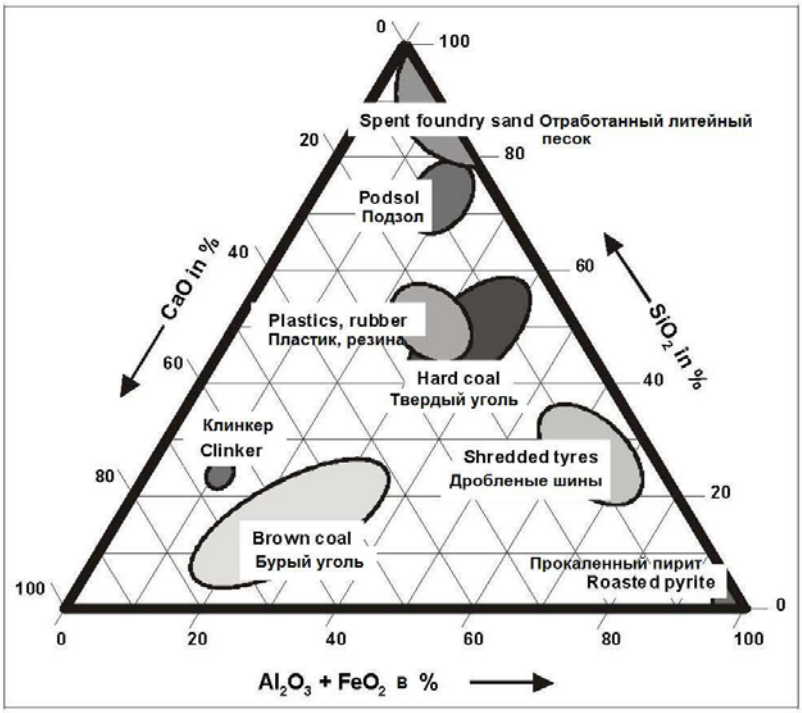

Рис.1.6. Тройная диаграмма CaO, SiO_2 и Fe_2O_3/Al_2O_3 цементного клинкера, золы различных сырьевых материалов и топлива [76]

Отработанный литейный песок, например, может подаваться в печь через входной патрубок. Остаток органического вещества, используемого для химического связывания песка в литую систему, должен быть разложен в подогревателе. Предварительное испытание литейного песка, отделение его от пыли может снизить содержание тяжелых металлов. При использовании промышленного гипса и золы-уноса, их ввод в цемент может осуществляться на заводе смешения. Теплотворная способность богатой углеродом (количество которого может в ней достигать 20 %) золы-уноса, может быть использована в процессе получения клинкера [76, 91, 168].

Факторы, принимаемые во внимание при выборе и применении отходов в качестве сырьевого материала:

- изначально отходы состоят из тех же оксидов как и клинкер;
- низкая концентрация тяжелых металлов, однако необходимо учитывать присутствие ртути, таллия и аналогичных металлов;
- регулярный контроль материалов с отбором и анализом используемых отходов.

1.2.4.3 Использование отходов в качестве топлива

Обычное ископаемое топливо может быть заменено топливными отходами, то есть остатками после сортировки отходов, содержащих твердые или жидкие горючие остатки топлива и/или биомассы. В настоящее время используется большое количество различных типов отходов, включая уловленные золы. Отходы могут быть твердыми, жидкими или пастообразными в зависимости от источника их образования, например, промышленные, сельскохозяйственные, городские. Потребление топливных отходов описывается в разделе 1.3.3.3, а влияние на состояние выбросов - в разделе 1.3.4.13.

1.2.4.3.1 Типы топливных отходов

Поскольку процесс обжига клинкера характеризуется благоприятными условиями для использования отходов, топливные отходы используются для замены части обычного топлива (см. раздел 1.2.4.1). Как показано в Табл.1.14, в Европейских цементных печах в качестве топлива используются различные типы отходов, которые классифицируются на опасные и неопасные отходы.

Отходы с высокой калорийностью могут заменять первичное топливо в цементных печах, поэтому постоянство качества отходов является обязательным (например, достаточная теплотворная способность, низкое содержание тяжелых металлов, хлора, золы, способность к горению, горючесть). Использование топливных отходов в производстве клинкера постоянно увеличивается, причем в большей степени неопасных отходов [74, 75, 76, 92].

Таблица 1.14. представляет список используемых топливных отходов, разделенных на 14 групп. Эти группы представляют только часть Европейского списка отходов, а полный список всех категорий отходов и описание отходов могут быть найдены в разделе 4.2.1, Табл.4.1. Кроме того, величины калорийности различных типов отходов представлены в Табл. 1.20 раздела 1.3.3.3 [74, 98, 103, 168].

Таблица 1.14. Различные типы отходов, используемые как топливо для вращающихся печей в 27 странах ЕС в 2003 и 2004 гг. [74, 168]

№ группы[1)]	Типы топливных отходов (опасные и безопасные)
1	дерево, бумага, картон
2	текстиль
3	пластмассы
4	продукты перегонки (например, RDF)
5	шины/резина,
6	промышленные шламы
7	городские сточные воды
8	отходы животноводства
9	уголь/отходы углерода
10	сельскохозяйственные отходы
11	твердые отходы (насыщенные древесные опилки)
12	растворители и соответствующие отходы
13	нефть и нефтяные отходы,
14	другие
[1)] Каждая группа детально описана в табл. 4.1 раздела 4.2.1	

1.2.4.3.1.1 Твердые топливные отходы

Не каждые способные к горению отходы пригодны в качестве топлива при получении клинкера. Твердые отходы могут быть однородными или неоднородными смесями разнообразных компонентов, таких как:

- частиц с разной способностью к горению, например, бумага, картон, пластмасса, резина, обломки (остатки обработки) дерева;
- смесями с различным количеством инертных материалов, содержащих органические фракции, например песка, камня, керамики, железистые и нежелезистые металлы, органические влажные материалы;
- вредных, например, шины, смолы, пропитанные древесные отходы или неопасных материалов.

Отходы, смешанные городские отходы, смешанные коммерческие отходы или отходы разрушения конструкций должны пройти предварительное испытание с выделением высококалорийных фракций. Объем предварительной переработки отходов – сортировка, дробление, подготовка окатышей – зависит от области применения топливных отходов.

Технологии подготовки твердого топлива в большой степени зависят от типа отходов и требований цементной промышленности. Одним из основных требований, проистекающих из способа транспортировки материала и типа используемой горелки, является подача отходов топлива в печь:

- в главной обжиговой системе (на головке печи или выходном отверстии, вдувание топлива через форсунку): высокая абразивность отходов – высушенного шлама – и необычная форма частиц и их размеры могут привести к проблемам эксплуатации. Когда используется пневматическая система транспортировки чтобы подать твердые топливные отходы в печь, можно избежать повреждения и заклинивания вращающихся частей (пневматическая система всецело функционирует без движущихся частей). Количество подаваемого воздуха, инжектируемого в печь с отходами, ничтожно в общем объеме, необходимом по стехиометрии для горения. Крупные частицы вызывают необходимость применения более мощных пневматических конвейерных линий и вентиляторов. Поэтому важным шагом процесса является снижение размера и дезагломерация топливных отходов (обычно размер окатышей не должен превышать 25 мм). Среднее уплотнение при слабой агломерации окатышей способствует улучшению текучести топливных отходов и их дозировки.
- вторичная обжиговая система (топливо подается в печь через впускное отверстие между печью и нижним циклоном или кальцинатором); ограничение размера для твердых топливных отходов не важно для вторичной обжиговой системы. Даже целая покрышка может быть введена через впускное отверстие. Кроме того, могут использоваться отходы с высоким содержанием золы.

Используются различные типы твердых отходов, например:

- неопасные отходы, перечисленные в Табл.1.14, группы 1-10;
- опасные отходы, перечисленные в Табл. 1.14, группы 11-13.

Рис. 1.7, 1.8, 1.9 показывают примеры смесей предварительно переработанные отходов, используемых цементными заводами:

- опасные отходы – пропитанные древесные опилки;
- топливные отходы на основе бумаги, текстиля, как до, так и после использования в производстве оберток, фотографических пленок, бумаги, полипропилена, материалов упаковки и пластиков;
- топливные отходы, содержащие бытовые отходы, перегородочная бумага, картон, дерево, ковролин, текстильные и пластиковые материалы, которые представлены в твердом виде, чистым и безопасным топливом.

Отходы анализируются и специально подготавливаются для использования в цементных печах [45, 81, 107].

Рис.1.7. Опасные отходы – пропитанные опилки [168]

Рис.1.8. Специально приготовленные топливные отходы на основе бумаги, пластика и текстиля [81]

Рис.1.9. Специально приготовленные бытовые отходы, используемые в качестве топлива в цементных печах [82]

1.2.4.3.1.2 Жидкие топливные отходы

Жидкие топливные отходы обычно приготавливаются смешением различных отходов использованных растворителей, красок или нефтяных отходов с подходящей величиной теплотворной способности с использованием специальных средств менеджмента. Более полную информацию относительно подготовки отходов можно найти в справочнике по НДТ для Промышленности Переработки Отходов [48].

Жидкие топливные отходы в большинстве опасные отходы. Это необходимо учитывать при обращении с ними, например при складировании, подаче материала, чтобы предотвратить выбросы органических соединений. Существуют некоторые технологии, например, испарители, которые используются где это необходимо. Система испарения эксплуатируется таким образом, чтобы обеспечить выход органических веществ только при согласовании с работой системы испарения и не выпускает пары органических веществ в воздух при нормальной работе, что необходимо с точки зрения безопасности [76, 81, 168].

1.2.4.3.2 Требования по качеству отходов и входной контроль

Отходы, используемые как сырьевые материалы и/или как топливо в цементных печах, должны обладать стандартным качеством, поскольку топливные золы полностью связываются с образованием клинкера, минимальным негативным действием на состав клинкера и не давать дополнительных выбросов в атмосферу. Кроме того необходимо стабильное качество отходов. Чтобы гарантировать характеристики топливных отходов, требуется система менеджмента качества. Она включает обеспечение отбора проб, их подготовку, анализ и внешний контроль. Более полезную информацию можно получить в документах Европейского Комитета по Стандартизации, таких, как CEN/TC 343 “Твердые Восстанавливаемые Топлива”. Кроме того, должны учитываться требования существующих Европейских и национальных инструкций. При совместном сжигании отходов должны приниматься во внимание требования Директивы по Сжиганию Отходов, например, требования процедуры приемки при использовании опасных отходов [59]. Основная роль требований качества заключается в признании отходов как топлива и/или сырьевых материалов, если они обеспечивают дополнительно следующее:

- калорийность за счет органической части;
- увеличение материала за счет минеральной части.

Высокая калорийность отходов может быть использована для замены первичного топлива в цементной печи. Следует отметить, что величина калорийности отходов колеблется в широких пределах (см. Раздел 1.3.3.3.).

Подготовка различных типов горючих отходов или отходов, содержащих фракции с высокой калорийностью, обычно выполняют вне цементного завода. Такие отходы обычно подготавливаются поставщиком или специальными организациями предварительной обработки отходов, использующих специальные устройства и оборудование для получения продукта, пригодного для использования в цементных печах без дополнительной подготовки на цементном заводе. Однако, до их использования в цементных печах, отходы регулярно проверяются и анализируются персоналом цементного завода. Используется специальное лабораторное оборудование для проверки различных качественных характеристик материала.

Технологии подготовки и смешения отходов определенного качества зависят от характеристик вводимого материала и требований потребителя. Даже однотипные отходы специального производства до их применения обрабатываются и смешиваются в установках, предназначенных для отходов, чтобы обеспечить однородность смеси и постоянство качества: термических свойств и химического состава. Только в некоторых случаях можно использовать отходы без предварительной их обработки, например шины и отработанные масла. Любые неоднородные отходы, похожие на смесь твердых отходов различных источников или отобранная фракция из смешанных городских отходов, требует повышен-

ного контроля для обеспечения надежного качества с постоянным малым вводом загрязнителя.

Важными характеристиками и параметрами топливных отходов являются величина калорийности, а также содержанием воды, серы, хлора, тяжелых металлов (особенно ртути и таллия) и золы. Дополнительной важной характеристикой является способность к горению (горючесть). Хлор может оказывать негативное действие на процесс производства. Поэтому приемлемая концентрация хлора зависит от индивидуальной ситуации на агрегате (установке, аппарате). Однако эта концентрация должна поддерживаться на минимальном уровне, чтобы предотвратить эксплуатационные проблемы печной системы, например, замазывание теплообменника. В случае повышенного количества хлора необходима байпасная система, чтобы предотвратить замазывание, остановку и т.д. (см. раздел 1.2.5.4.1). Типичная концентрация хлора находится в пределах 0.5 – 2 %.

Индивидуальные системы спецификации были созданы в 27 странах ЕС для контроля пригодности топливных отходов, например список максимально допустимых концентраций загрязнителей, позволяющих выбирать отходы для применения в процессе обжига клинкера. Кроме того, спецификации определяют технических нормы для жидких топливных отходов, поставляемых на предприятие. Пример внутренней спецификации для отходов описан в разделе 4.2.1.1, в Табл.4.9. Примеры критериев отбора приемлемых топливных отходов, принятые в некоторых странах ЕС, даны в разделе 4.2.2.1.1.

Другие используемые системы в основном сосредотачивают внимание на содержание металлов (см. раздел 1.2.4.3.2.1). Следует отметить, что и другие материалы, не отвечающие всем указанным условиям, могут быть использованы. В случае использования осадков сточных вод или отходов дерева, необходимо регулярно контролировать содержание ртути во избежание её выбросов.

Обычно топливные отходы накапливаются в значительном количестве. При выборе источника топливных отходов первым шагом является снижение доли материала, который может причинить проблемы в производственном процессе цемента или в его качестве.

При выборе топлива (обычного или отхода) также необходимо учитывать требования к качеству материала. Поэтому для производства цемента пригоден только ограниченный круг и количество топливных отходов. Имеются соответствующие ограничения по типам и количеству топливных отходов, пригодных для производства цемента, которые сильно зависят от специфичных обстоятельств [75, 76, 89, 103, 168].

Полезная информация относительно подготовки отходов изложена в НДТ для Промышленности по Переработке Отходов, где описываются примеры спецификаций отходов, которые могут быть приняты как топливо для цементных печей в некоторых странах [48].

1.2.4.3.2.1 Концентрация металлов в отходах

Концентрация металлов изменяется в зависимости от происхождения отходов. Во многих Европейских странах законодатели и/или промышленность выпустили список с максимально допустимой величиной концентрации металлов для выбора отходов, которые будут использованы в качестве топлива или сырьевых материалов. Примеры типичных концентраций металлов и типичные критерии, относящиеся к различным веществам для определения пригодности топливных отходов в различных странах Европы представлены в разд.4.2.2.1.1. Однако не имеется соглашений по уровню ограничений, поскольку критерии применимы в зависимости от местной ситуации. Такие критерии включают:

- национальную политику и законодательство по охране окружающей среды;
- значимость влияния цементной промышленности на окружающую среду в контексте с региональным развитием промышленности;
- усилия, направленные на гармонизацию региональных законов и стандартов по охране окружающей среды;
- уровень загрязнителей в традиционных сырьевых материалах и отходах;

- условия производства и выбросы;
- альтернативные методы обезвреживания отходов;
- необходимую минимальную величину калорийности;
- требования к качеству цемента.

1.2.4.3.3 Складирование и транспортировка отходов

Топливные отходы обычно подготавливаются на специальных обслуживающих предприятиях. Подаваемые подготовленные отходы необходимо только складировать на цементном заводе и затем в отмеренном количестве подавать в цементную печь. После поставки партии отходов они имеет тенденцию изменяться, поскольку рынок отходов быстро развивается. Поэтому благоразумно проектировать многоцелевые склады/заводы по подготовке отходов.

Жидкие топливные отходы в большинстве случаев являются опасными отходами. Это необходимо учитывать при их доставке, при складировании, при подаче в производство (см. раздел 1.2.4.3.1.2.) [76]. Кроме того, для потенциально самовозгорающихся материалов должны быть предусмотрены специальные меры, особенно когда используются отходы, доставленные с предприятий по подготовке и сортировке отходов на фракции.

Полная информация, касающаяся хранения материалов, также представлена в Справочном документе по НДТ »Выбросы и сбросы (вредных веществ) при хранении сыпучих и опасных материалов» [96].

1.2.5 Обжиг клинкера

Эта часть технологического процесса является наиболее важной в отношении количества потенциальных выбросов, качества продукции и её стоимости. При обжиге клинкера сырьевая смесь (или сырьевой шлам при мокром способе производства) подается во вращающуюся печь, где она высушивается, подогревается, кальцинируется и обжигается с получением цементного клинкера.

В процессе обжига клинкера требуется высокая температура чтобы превратить сырьевую смесь в цементный клинкер. Самым главным по существу является обеспечение температуры материала в зоне спекания в пределах 1400 – 1500 ^{o}C и температуры пламени факела около 2000 ^{o}C. Необходимо также обжигать клинкер в окислительной среде. Поэтому требуется избыток воздуха в зоне обжига печи.

Для производства белого цемента в зоне спекания необходима температура 1600 ^{o}C, зависящая от состава сырьевой смеси и проектируемого состава конечного продукта. Температура факела требуется выше 2000 ^{o}C из-за отсутствия плавких элементов в сырьевых материалах, которые видоизменяют цвет продукта. В печи должны поддерживаться условия, препятствующие окислению некоторых элементов, которые влияют на цвет клинкера. Кроме того, обязательно выбирается беззольное топливо и талькмагнезитовая или шпинельмагнезитовая футеровка, чтобы избежать загрязнения клинкера. На качество белого цемента в значительной мере влияет технология его получения [119, 120, 138].

После того, как в 1895 году была изобретена вращающаяся печь, она является основным агрегатом всех современных установок по производству клинкера. Вертикальные шахтные печи все еще используются для производства извести, но для производства клинкера они используются только в некоторых странах и на малых заводах.

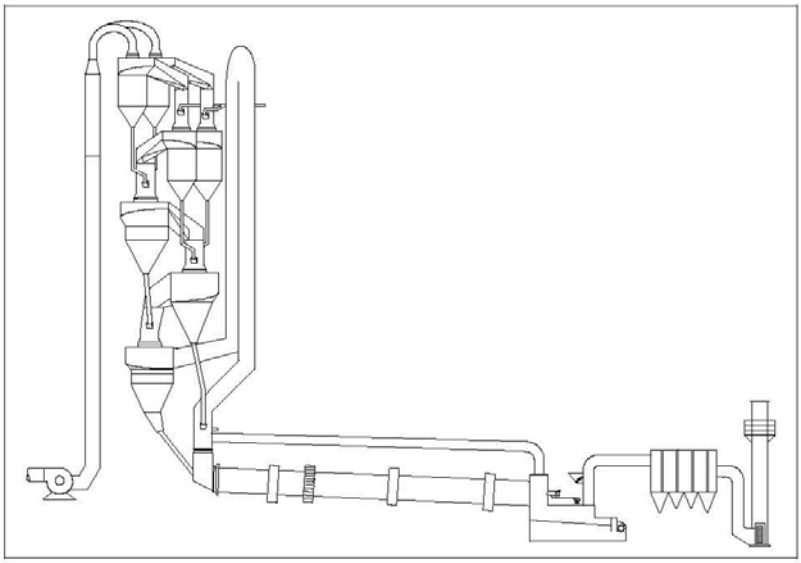

Рис.1.10. Схема печи с теплообменником, декарбонизатором и колосниковым холодильником [72]

Первой вращающейся печью была длинная печь мокрого способа производства, в которой потребляемое тепло полностью используется в самой печи. С внедрением сухого способа производства оптимизация процесса привела к технологии, которая обеспечивает сушку, подогрев и кальцинирование в стационарных установках отдельно от печи, как показано на Рис. 1.10.

Вращающаяся печь состоит из стальной трубы с соотношением длины к диаметру от 10 : 1 до 38 : 1. Труба поддерживается двумя – семью (или больше) опорами, имеет наклон от 2.5 до 4.5 % и вращается со скоростью от 0.5 до 5 оборотов в минуту. Сочетание наклона с вращением обеспечивает продвижение материала вдоль печи. Чтобы выдерживать высокую температуру, вращающаяся печь изнутри целиком облицована термостойкими кирпичами (огнеупорами). Все длинные и некоторые короткие печи снабжены внутренними теплообменными устройствами – цепями, крестовинами, подъемниками – для улучшения теплопередачи.

В процессе работы в зависимости от параметров процесса обжига, сырьевых материалов и других причин может происходить наращивание слоя материала на внутренней поверхности печи (кольцеобразование). Кольца могут образоваться в холодном конце печи, где осуществляется ее питание (так называемые гипсовые кольца), в зоне спекания (клинкерные кольца) или в конце печи на выходе клинкера (зольные кольца). Последние два вида колец могут внезапно разрушиться и вызвать резкое увеличение потребления тепла, появление некачественного материала из печи; в этом случае некачественно обожженный материал может быть повторно пропущен через печь либо отброшен как отход. Циклоны и решетки подогревателя могут подвергаться замазыванию – наращиванию слоя материала, что приводит к выводу печи из строя.

1.2.5.1 Форсунки печи

Топливо, подаваемое в печь через главную форсунку, образует пламя с температурой около 2000 ^{o}C. Для оптимизации процесса пламя должно быть регулируемым в определенных пределах. В современных горелках непрямого действия пламя формируется и регулируется первичным воздухом (10 – 15 % от общего топлива, подаваемого на горение).

Потенциальные точки подачи топлива в печную систему следующие:

- через главную горелку на нижний горячий конец вращающейся печи;

- через питающий желоб в переходной камере во входном конце вращающейся печи (для кускового топлива);
- через вторичные горелки в канал стояка;
- через горелку декарбонизатора в декарбонизатор;
- через питающий желоб к декарбонизатору (для кускового топлива);
- через шлюз в середине корпуса печи в случае длинной печи мокрого или сухого способа (для кускового топлива);
- через конец решетки печи Леполь

Устройства для сжигания угля/кокса бывают как прямого, так и непрямого сжигания. Установки прямого сжигания работают без промежуточного хранения и дозировки топлива. Измельченное топливо вдувается непосредственно в печь воздухом, используемым для разгрузки мельницы и действующим как носитель и как первичный воздух, формирующий факел. Установки прямого сжигания топлива имеют ряд недостатков. Одним из них является то, что печная система теряет около 200 – 250 кДж/тонну клинкера (на 6 – 8 % выше потерь в современных печных системах). В настоящее время устройства прямого сжигания топлива используются редко.

Жидкое топливо – мазут – под соответствующим давлением и вязкостью подается через распылительную форсунку в печь для формирования факела. Формирование факела осуществляется с помощью многоканальной горелки с мазутной форсункой в центре.

Форсунки для природного газа также проектируются на многоканальном принципе. В этих форсунках газ заменяет не только уголь или битум, но и первичный воздух.

Многоканальные форсунки проектируются и для использования различных типов топливных отходов (см. 1.2.4.). Внешний вид такой форсунки показан на Рис. 1.11.

Рис.1.11. Образец многоканальной форсунки [107]

1.2.5.2 Длинные вращающиеся печи

Длинные вращающиеся печи могут питаться шламом, раздробленным кеком после его фильтрации, гранулами или сухой смесью и таким образом приспособлены для всех типов производства. Наибольшая по длине печь имеет отношение длины к диаметру 38 : 1 и может быть длиннее 200 м. Эти громадные установки производят клинкера более 3600 тонн в сутки при мокром способе производства (Бельгия, США и СНГ). Длинные вращающиеся печи для сухого способа спроектированы таким образом, что они уже включают в себя зоны для осуществления процессов сушки, подогрева, декарбонизации и обжига; к ним необходимо добавить только систему питания и охлаждения. Часть длинной печи оборудуется цепями и другими устройствами для улучшения теплообмена.

Печи мокрого способа, используемые с 1895 года, являются наиболее старыми типами вращающихся печей для получения клинкера. Приготовление сырьевых материалов по мокрому способу первоначально использовалось потому, что их гомогенизация достигалась легче. Сырьевая смесь для мокрого способа содержит от 32 до 40 % воды. Вода необходима для поддержания жидких свойств шлама для питания печей. Вода затем должны быть испарена в специально спроектированных зонах сушки печи, где используется значительная часть теплоты горения топлива. Эта технология имеет высокую тепловую потребность и характеризуется большими количествами газов от процессов сгорания топлива и испарения воды.

Длинные печи сухого способа, используемые в США, иногда используют сухие сырьевые смеси, приготовленные по сухому способу. Из-за высокого потребления топлива в Европе имеется только несколько таких установок.

1.2.5.3 Вращающиеся печи с подогревателями

Вращающиеся печи с подогревателями имеют отношение длины к диаметру в пределах 10 : 1 — 17 : 1. Существуют два типа подогревателя: конвейерный кальцинатор и суспензионный теплообменник с подогревом материала во взвешенном состоянии. При эксплуатации этого типа печей иногда могут возникнуть проблемы, связанные с циркуляцией и повышенным содержанием плавней в составе сырьевых смесей или в топливе – хлоридов, сульфатов, щелочей (см. раздел 1.2.4.3.2 и 1.2.5.3.4).

1.2.5.3.1 Вращающиеся печи с конвейерным кальцинатором

Эта технология, более известная как печь Леполя, была изобретена в 1928 году. Она была впервые представлена как стационарная установка, позволяющая осуществлять часть процесса обжига отдельно от вращающейся печи. Это позволило укоротить печь и соответственно снизить потери тепла, увеличить энергетическую эффективность процесса обжига клинкера.

В конвейерном кальцинаторе (Рис. 1.12) гранулы, приготовленные из сухой смеси на грануляторе (полусухой способ) или из кека отфильтрованного шлама (полумокрый способ), подаются на горизонтально движущуюся конвейерную решетку, проходящую через закрытый туннель. Туннель разделяется на камеру с горячими газами и камеру сушки, разделенных перегородкой, открытой для решетки. С помощью вентилятора-дымососа отходящие газы из вращающейся печи с температурой 1000 – 1100 ^{o}C поступают в верхнюю часть подогревателя, а затем просасываются через слой гранул сверху вниз; часть горячих печных газов обеспыливается в циклонах, разбавляется атмосферным воздухом до температуры 400 – 500 ^{o}C и подаётся в камеру сушки, где тоже проходит через слой гранул сверху вниз. Такие меры принимается для того, чтобы избежать разрушения гранул при быстром, взрывном испарении воды при их попадании в зону высокотемпературных газов.

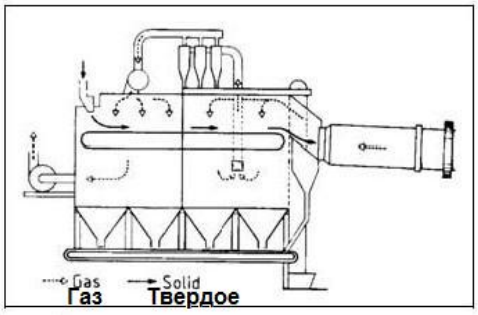

Рис. 1.12. Конвейерный кальцинатор
[39]

Отходящие газы из вращающейся печи поступают в подогреватель с температурой 1000 – 1100 ^{o}C. После прохождения через слой материала в горячей камере газы охлаждаются

до 250 – 300 °С, а после прохождения через слой гранул в камере сушки покидают камеру при 90 – 150 °С. Температура материала достигает 150 °С в камере сушки и 700 – 800 °С в высокотемпературной нагревательной камере.

Чтобы достичь оптимальной тепловой эффективности конвейерный кальцинатор в полумокром способе должен быть оборудован системой тройного прохождения газа, а выходящий из холодильника воздух использован для сушки материала. Максимальная производительность построенной установки для полумокрого способа составляет 3300 тонн в сутки.

1.2.5.3.2 Суспензионный теплообменник

Изобретение суспензионного теплообменника в начале 1930-х годов было значительным достижением. Подогрев и даже частичная кальцинация сухого сырьевого материала (сухой / полусухой способы) происходит во взвешенном состоянии горячими газами из вращающейся печи. Большая площадь контакта поверхности частиц сырьевой муки с газами обеспечивает почти полный теплообмен.

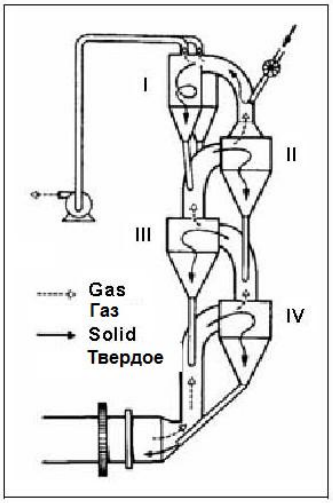

Рис. 1.13. Циклонный суспензионный теплообменник [39]

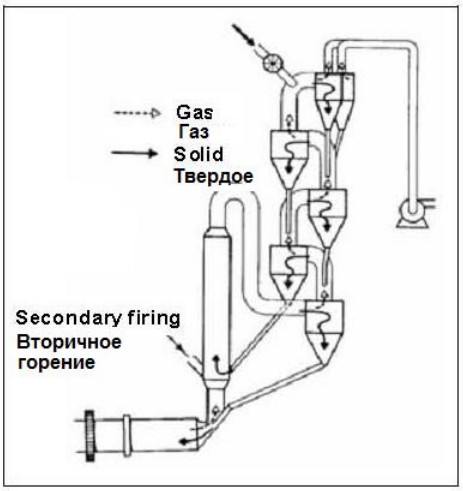

Рис. 1.14 Циклонный теплообменник с декарбонизатором [39]

Существуют различные системы запечных суспензионных или циклонных теплообменников. Примеры таких систем показаны на Рис.1.13 и 1.14. Они обычно имеют четыре и шесть циклонов (ступеней), которые устанавливаются последовательно друг под другом в виде башни высотой 50 – 120 м. Наиболее высокая ступень может включать два параллельно работающих циклона для лучшего осаждения пыли. Сухая порошкообразная сырьевая смесь вводится в поток отходящих газов перед верхней ступенью циклонов. В циклонах она отделяется от газа и оседает перед тем перейти в следующую ступень. Эта процедура повторяется на каждой стадии, пока материал окончательно не попадет во вращающуюся печь. Такое последовательное смешение, сепарация, перемешивание при высокой температуре являются необходимыми для оптимальной теплопередачи.

1.2.5.3.3 Шахтный теплообменник

Значительное количество шахтных теплообменников были созданы вслед за внедрением технологии с запечными суспензионными теплообменниками, обеспечивая теоретически наилучший теплообмен. Однако трудности, связанные с обеспечением распределения сырьевой смеси в газовом потоке, оказались значительно больше, чем ожидалось, поэтому шахтный теплообменник обычно является нижней ступенью гибридной системы с циклонами на верхней ступени теплообменника или многостадийных циклонных тепло-

обменников. Некоторые из этих установок все еще действуют, однако большинство из них реконструированы в чисто циклонные теплообменники.

Применение шахтных циклонных теплообменников оправдано, если в сырьевой смеси присутствует значительное количество плавней – хлоридов, сульфатов, щелочей, так как в этом случае они менее подвержены налипанию частиц сырьевой смеси на стенки теплообменника.

Типичная производительность шахтного теплообменника достигает 1500 тонн в сутки, в то время как гибридная система может производить 3000 т/сут. и более.

1.2.5.3.4 Четырехступенчатый циклонный теплообменник

Применение четырехступенчатого циклонного теплообменника (см. Рис. 1.13) стало стандартной технологией в 1970-х годах, когда было построено много цементных заводов производительностью от 1000 до 3000 т/сут. Отходящие газы с температурой 300 – 400 ^{o}C на выходе из верхнего циклона используются для сушки материала. Степень декарбонизации сырьевой смеси, поступающей в печь, достигает 30 %, так как её температура составляет более 850 ^{o}C за счет нагрева горячими дымовыми газами.

Некоторые проблемы могут возникнуть на нижней ступени циклонного теплообменника при повышенном содержании в сырьевой смеси легкоплавких соединений (хлоридов, сульфатов, щелочей). Вследствие постепенного накопления этих соединений на стенках нижнего циклона появляются пленки расплава, что приводит к прилипанию к ним частиц сырьевой смеси, общему залипанию циклона и газоходов и, в конечном итоге, к остановке печного агрегата. Для предотвращения этого явления применяют байпас части печных газов. При резком охлаждении газов, следующих в байпас (3 – 15 % от общего объема печных газов), происходит конденсация паров легкоплавких соединений и их осаждение на пылевидных частицах сырьевой смеси. Эти частицы отделяются в циклонах. При высоком содержании легкоплавких веществ в пыли байпасной системы она подлежит захоронению; во всех остальных случаях пыль возвращается в производственный процесс.

Почти все четырехступенчатые циклонные теплообменники комплектуются вращающимися печами с тремя опорами. Это стало стандартным проектом с 1970 года. Печь с диаметром от 3.5 до 6 м имеет отношение длины к диаметру в пределах от 13 : 1 до 16 : 1. Эта печная система механически проще, чем длинная печь мокрого или сухого способа производства, и, пожалуй, является наиболее широко применяемой в настоящее время.

1.2.5.4 Вращающаяся печь с циклонным теплообменником и декарбонизатором

Технология с использованием декарбонизатора стала доступна для цементной промышленности с 1970 года. В этом технологическом процессе тепло вводится в двух точках. Первичное топливо подается в печь в зону обжига. Дополнительно осуществляется сжигание топлива в специальной камере – декарбонизаторе, установленной между вращающейся печью и теплообменником. В этой камере сжигается до 65 % всего топлива. Использование отходящих печных газов в нижней части циклонного теплообменника и третичного воздуха обусловливают длительное пребывание материала в горячем состоянии. Энергия в основном используется для обжига сырьевой муки, которая подвергается почти полной декарбонизации ещё до поступления в печь. Степень декарбонизации достигает почти 90 %. Горячий воздух для сжигания топлива в декарбонизаторе подается из холодильника. Материал покидает декарбонизатор с температурой 870 ^{o}C. Изменение температуры газов и материала в циклонном теплообменнике показано на Рис. 1.15.

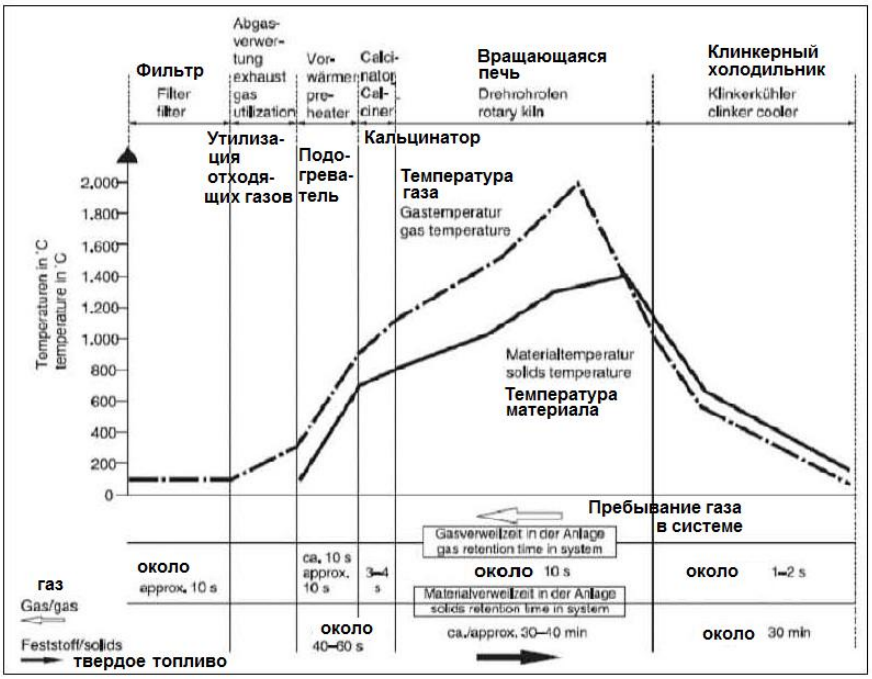

Рис. 1.15. Температурные профили печных газов и сырьевой смеси в циклонном теплообменнике [60]

На Рис.1.14. представлена технологическая схема печи с циклонным запечным теплообменником и декарбонизатором. В принципе, вторичное сжигание топлива может осуществляться и в печи с конвейерным кальцинатором. В этом случае декарбонизация увеличивает ее производительность по клинкеру.

Печная система с пятиступенчатым циклонным теплообменником и декарбонизатором является стандартной для новых заводов сухого способа производства. На Рис.1.16 показана принципиальная схема такой установки. При использовании отходов в качестве топлива печные установки с декарбонизатором могут также использоваться (Рис. 1.17).

Мощность новых заводов определяется тенденциями развития рынка, а также масштабом экономики. Типичная производительность новых заводов в Европе в настоящее время находится в пределах 3000 – 5000 т/сут. Технически возможны установки и с большей производительностью, вплоть до 15000 т/сут; в настоящее время на Азиатском рынке эксплуатируются три печи производительностью 10000 т/сут.

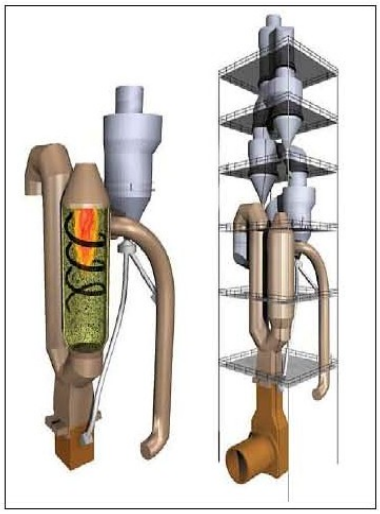

Рис. 1.16. Циклонный теплообменник с декарбонизатором [81]

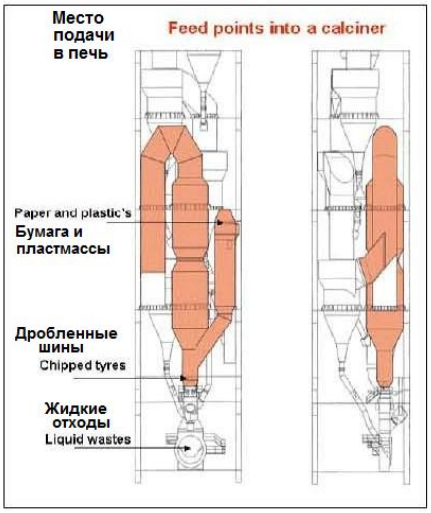

Рис. 1.17. Использование отходов в качестве топлива в печи с декарбонизатором [81]

Раньше печная система с циклонным теплообменниками имела только четыре ступени и характеризовалась повышенной температурой отходящих газов и повышенным потреблением топлива. Когда природные материалы имеют низкую влажность, преимущественно выбирают шестиступенчатый циклонный теплообменник в сочетании с рукавным фильтром для обеспыливания дымовых газов.

При повышенном содержании плавней в сырьевой смеси для поддержания нормального режима работы печи с циклонным теплообменником и декарбонизатором необходимо использовать байпас печных газов. Из-за различий в характеристиках газовых потоков байпас в печи с декарбонизатором намного более эффективен, чем простой печи с циклонным теплообменником.

Несмотря на тот факт, что сырьевая смесь поступает в печь декарбонизированной на 75 – 95 %, большинство печей с декарбонизатором все еще оборудованы зоной кальцинации; отношение длины печи к диаметру составляет от 13 : 1 до 16 : 1, как и в случае печи, оснащенной только циклонным теплообменником.

1.2.5.4.1 Система байпаса печных газов

Хлориды, сульфаты и щелочи, содержащиеся в сырьевых материалах, а также в топливе, попадая в печную систему, циркулируют внутри между печью и теплообменником; при этом их содержание в материале постепенно цикл за циклом увеличивается. При высокой концентрации они приводят к образованию отложений на поверхности входного отверстия печи.

Стабильность работы печи с минимальными нарушениями режима является основой для энергетической эффективности производства клинкера, поэтому необходимо предотвратить образование этой корки (обмазки). Многократная циркуляция щелочей, хлоридов и в некоторой степени сульфатов и их постепенное накопление заставляют использовать систему байпаса печных газов на выходе печи. Удаляемая часть газов не только снижает количество щелочей, хлоридов и сульфатов, но и других веществ. Удаление части горячего материала и горячих газов естественно ведет к повышению потребления энергии на 6 - 12 МДж/т клинкера на процент удаленного печного газа. Типичный уровень байпаса составляет 15 % при высоком содержании хлоридов и до 70 % при высоком содержании серы. Очистка дымовых газов с извлечением оксидов серы с помощью системы байпаса может быть дополнена путем:

- использования активной извести;
- задержкой газов при высокой температуре (более 300 ^{o}C);
- задержкой газов при низкой температуре (< 200 ^{o}C) в присутствии воды (или её паров).

Байпас может вызвать дополнительные выбросы и дополнительные расходы тепла в зависимости от его конфигурации [76, 86, 89, 103]

1.2.5.5 Шахтные печи

В Европе используются несколько шахтных печей для производства цемента. Печи этого типа состоят из вертикального цилиндра диаметром 2 – 3м и высотой 8 – 10 м, облицованного огнеупорной футеровкой. Сверху в них подаются гранулы сырьевого материала и измельченный уголь или кокс. В процессе обжига материал перемещается через короткую зону спекания в верхней, слегка расширенной части печи. Затем материал охлаждается воздухом, подаваемым снизу для горения топлива и опускается в виде клинкера в нижнюю часть печи на разгрузочную решетку.

Шахтные печи имеют производительность менее 300 тонн клинкера в сутки. Они экономичны только для малых заводов, поэтому их число постепенно снижается.

1.2.5.6 Печные отходящие газы

Во всех печных системах газы в конечном итоге проходят через устройство, контролирующее концентрацию пыли (электрофильтр или рукавный фильтр) для осаждения пыли до их выхода в дымовую трубу.

При сухом способе производства отходящие газы могут иметь относительно высокую температуру и использоваться для сушки сырьевых материалов (комплексное использование тепла). Если отходящие газы не используются для целей сушки (открытый процесс), то они охлаждают вспрыскиванием воды в башню кондиционирования перед тем как они попадут в пылеуловитель, для того чтобы снизить их объем и улучшить процесс осаждения пыли.

1.2.5.6.1 Выбросы CO

Оксид углерода образуется из органических соединений, содержащихся в сырьевых материалах, и иногда при неполном сгорании топлива. Из сырьевых материалов оксид углерода переходит в состав печных газов.

Контроль за количеством CO является важным для цементных (известковых) печей, использующих электрофильтры, что связано с необходимостью поддерживать концентрацию ниже той, которая может привести к взрыву газовой смеси. Если количество CO перед электрофильтром увеличивается выше определенного уровня, как показано в Табл.1.38 (см. раздел 1.4.5.3), электрическая система выключается, чтобы избежать риска взрыва. Это ведет к повышенному выбросу CO из печи. Появление CO может быть вызвано неустойчивой работой системы сжигания топлива. Особенно часто это проявляется при использовании твердого топлива, поэтому подача твердого топлива должна быть спроектирована таким образом, чтобы предотвратить неравномерную подачу топлива в форсунку. Влажность твердого топлива является особенно критическим фактором в этом отношении и необходимо ее тщательно контролировать, чтобы предотвратить закупоривание системы питания.

Указания, касающиеся контроля выбросов CO, представлены в разделе 4.2.6.

1.2.5.7 Клинкерные холодильники

Клинкерный холодильник является неотъемлемой частью печной системы и имеет решающее влияние на работу и экономику действующего завода. Холодильник имеет две задачи: рекуперировать тепло горячего клинкера (1450 ^{o}C) с возвратом его в технологический процесс и снизить температуру клинкера до приемлемого для последующего оборудования уровня.

Рекуперируемое тепло используется для нагрева воздуха, применяемого для сжигания топлива в первичной или вторичной системе; степень такой рекуперации максимально близка к термодинамическому пределу. Однако полной рекуперации мешает высокая температура и абразивность клинкера, а также его широкий гранулометрический состав. Быстрое охлаждение фиксирует такой минералогический состав клинкера, который повышает его размалываемость и оптимизирует гидратационную способность цемента.

Типичные проблемы, которые встречаются при работе холодильника – это термическое расширение, износ, неправильная подача воздуха, низкая производительность которые не способствуют реализации приведенным выше требованиям. Существуют два основных типа холодильников: вращающиеся и колосниковые.

Для производства белого цемента используются другие типы холодильников, изготовленные в соответствии со спецификой продукции завода, чтобы обеспечить восстановительные условия при охлаждении клинкера. Для улучшения качества клинкера используется бескислородная атмосфера на первичной стадии отбеливания и быстрое охлаждение водяной струей. Быстрое охлаждение белого клинкера в воде приводит к значительному повышению его белизны. Газовая смесь для первичного отбеливания содержит мене 0,2 % кислорода и более 5 % CO. Кроме того, используется конверторный газ для предварительного охлаждения в течение короткого периода с последующим охлаждением водой. Быстрое охлаждение белого клинкера в воде, содержащий небольшое количество HCl, H_2SO_4 и других кислот обеспечивают значительное повышение белизны. В период охлаждения необходимо избегать загрязнение белого клинкера хромофорными элементами и сильными окислителями [119, 120, 138].

1.2.5.7.1 Вращающиеся холодильники

1.2.5.7.1.1 Барабанные холодильники

Барабанный холодильник работает по такому же принципу, как и вращающаяся печь, но не для подвода, а для отвода тепла от материала. Под печью устанавливается дополнительный вращающийся барабан со своим собственным приводом, соединенный с выходным концом печи. После выгрузки из печи клинкер проходит через кожух в барабан, который оборудован подъемными полками, пересыпающими продукт в проходящем воздухе. Количество охлаждающего воздуха обусловлено количеством воздуха, требуемым для горения топлива. Кроме скорости только внутреннее устройство холодильника может повлиять на его работу. Оптимизация конструкции пересыпных полок-подъемников может значительно изменить интенсивность теплообмена за счет возврата клинкерной пыли в печь.

1.2.5.7.2 Планетарные рекуператорные холодильники

Планетарные холодильники являются специальным типом вращающихся холодильников. Некоторое количество барабанов (от 9 до 11) прикрепляются к вращающейся печи в разгрузочном конце, как показано на Рис. 1.18. Горячий клинкер поступает в каждый барабан через отверстия, размещенные по окружности вращающейся печи в местах крепления барабанов. Количество холодного воздуха, поступающего в каждый барабан через его разгрузочный конец, определяется стехиометрическим количеством, необходимым для полного сгорания топлива, обусловливая обратный обмен теплом. Эффективность работы холодильника зависит от наличия подъемных и пересыпных полок внутри барабана, предназначенных для распределения потока клинкера. Не существует способов регулирования параметров работы холодильников. Высокий износ и тепловой удар в связи циркуляцией пыли, высокая температура клинкера на выходе и недостаточно оптимальный теплообмен не являются необычными. Температура выходящего клинкера может быть понижена за счет впрыскивания воды в барабан холодильника или орошения его кожуха (корпуса).

Из-за невозможности использования третичного воздуха, планетарный холодильник не пригоден для использования в печах с декарбонизатором сырьевой смеси. Тем не менее можно достичь сжигание до 25 % вторичного топлива в печном пространстве.

Рис. 1.18. Планетарный рекуператорный клинкерный холодильник [45, 90]

1.2.5.7.2 Колосниковые холодильники

Охлаждение в колосниковых холодильника происходит за счет пропускания воздуха снизу вверх через слой клинкера, находящийся на колосниковой решетке. Применяются два способа транспортировки клинкера: движущимися решетками и возвратно-поступательным движением колосников.

Если воздух, охладивший клинкер, не используется полностью для горения топлива, его можно использовать для сушки сырьевых материалов, добавок в цемент или угля. При невозможности использования для сушки, воздух должен тщательно обеспыливаться.

1.2.5.7.2.1 Холодильники с движущимися решетками

В этом типе холодильника клинкер перемещается с помощью движущейся колосниковой решетки. Решетка по внешнему виду спроектирована также как и решетка конвейерного кальцинатора в печи Леполь. Охлаждающий воздух вдувается вентилятором в камеры снизу под решетку. Преимуществом такого проекта является спокойно лежащий клинкер и возможность замены решетки без остановки печи. Из-за механической сложности и плохого теплообмена слоя клинкера пониженной толщины вблизи края решетки и стенкой холодильника эту конструкцию холодильника прекратили выпускать и в новых установках она не используется с 1980 г.

1.2.5.7.2.2 Холодильники с возвратно-поступательным движением колосников

Поступающий в холодильник клинкер подвергается постепенному проталкиванию по колосниковой решетке передней гранью чередующихся рядов колосников. Относительное движение передних граней осуществляется гидравлическими или механическими приводами, связанными с каждым вторым рядом. Только клинкер, но не колосники, движется от точки попадания в холодильник до разгрузочного конца,

Плиты колосников изготовлены из теплостойкого стального литья и обычно имеют ширину 300 мм и щелевые отверстия для прохождения через них воздуха.

Охлаждающий воздух подается вентилятором под давлением 300 – 1000 мм водяного столба в камеры, находящиеся под колосниками. Эти камеры отделяются одна от другой, чтобы поддержать равномерный профиль давления. На колосниковой решетке обычно различают две зоны:

- рекуператорную зону, из которой горячий воздух используется для горения топлива в основной горелке (вторичный воздух) и топлива, используемого в декарбонизаторе (третичный воздух);
- дополнительную зону охлаждения, где атмосферный воздух охлаждает клинкер до более низкой температуры.

Основными особенностями современных холодильников являются (в зависимости от поставщика):

- современные плиты со встроенными устройствами с изменяющимся или постоянным перепадом давления проходящего воздуха, но непроницаемые для клинкера;
- аэрируемые плиты с нагнетанием воздуха через каналы и сопла;
- индивидуально регулируемые зоны аэрации;
- фиксированный вход материала в холодильник;
- чередование широких и узких колосников;
- роликовый измельчитель материала на выходе из дробилки;
- тепловая защита (защита металлических частей воздушным потоком).

Большинство эксплуатируемых установок имеют активную поверхность около 280 м^2 с производительностью до 10000 тонн охлаждаемого клинкера в сутки. Типичным недостатком этих холодильников является скопление и неравномерное распределение слоя клинкера на поверхности решетки, приводящее к неравномерному распределению потока воздуха, проходящего через слой клинкера, избыточная флюидизация тонкодисперсного клинкера, необходимость тонкой настройки режима работы, а также далекое от желаемого время жизни и работы колосников.

1.2.5.7.2.3 Третье поколение колосниковых холодильников

Внедрение и широкое применение современных холодильников с возвратно-поступательным движением колосников началось в 1983 году. Конструкция была нацелена на ликвидацию трудностей эксплуатации обычных холодильников для оптимизации теплообмена и уменьшения размеров холодильника, использование меньшего количества холодного воздуха для снижения габаритов системы обеспыливания.

В 2000-х годах появилось новое поколение клинкерных холодильников, основанное на полностью новой концепции охлаждение клинкера. Основная идея этих холодильников основана на разделении систем продвижение клинкера и воздухораспределительной система с целью их максимальной оптимизации. В сравнении с обычным холодильником с возвратно-поступательным движением колосников в новом типе холодильников изолирующий колосники воздух не используется и распределение воздуха оптимизировано для всех используемых операций.

Основными особенностями этих типов холодильников являются (в зависимости от поставщика):

- одна наклонная или горизонтальная закрепленная колосниковая рещетка;
- клинкер транспортируется крестовиной, движущимся полом или похожими устройствами и отделён от системы распределения воздуха;
- устранено просыпание клинкера под решетку;
- устранен изолирующий воздух и добавлена система автоматического контроля распределения воздуха;
- эффективность транспортировки клинкера улучшается, устраняются проблемы, связанные с повышенной флюидизацией тонкодисперсных фракций клинкера.

Холодильники нового типа пригодны для эксплуатации совместно с печами большой производительности.

1.2.5.7.3 Вертикальные холодильники

Не имеющий пылевыделения дополнительный холодильник, называемый гравитационным холодильником или G-холодильником, был разработан для установки после планетарного холодильника или короткого колосникового холодильника. Охлаждение клинкера осуществляется за счет его прохождения через систему стальных труб, через которые продувается охлаждающий воздух.

1.2.5.8 Дополнительная выработка электрической энергии

На цементных заводах может использоваться система выработки электрической энергии за счет избытка тепла из цементного производственного процесса.

В нормальном режиме большее количество тепла из клинкерных печей может использоваться для:

- сушки сырьевых материалов или их одновременной сушки и измельчения;
- сушки шлака;
- сушки песка;
- сушки и измельчения топлива.

Заводы с многостадийными циклонными теплообменниками с и без декарбонизатором созданы приспособлены для использования определенных видов сырьевых материалов. Когда сырьевые материалы имеют высокую влажность, выходящий из колосникового холодильника горячий воздух также используется в процессе подготовки материала.

Карбонатные материалы в зависимости от их геологической структуры и сезонных осадков, нуждаются в различном количестве тепла для испарения влаги. Время от времени в выше упомянутом процессе может возникать некоторый избыток тепла. Следует отметить, что избыток тепла полезен для технологии, так как обеспечивает возможность осуществления маневров при рекуперации этого тепла.

Кроме прямого нагрева избыток тепла может быть также использован для выработки электрической энергии. Обычно эти процессы осуществляются с применением воды, требующей экономного отношения вследствие относительно высокой температуры и давлении пара.

Впервые процесс органического цикла Ранкина для выработки энергии из низкотемпературных отходящих газов был применен на цементной печи в Германии. Этот процесс основан на использовании пентана как рабочего тела, который интенсивно испаряется при значительно более низкой температуре, чем вода. Особым достижением являлась простота эксплуатации, компактная структура и относительно высокий уровень эффективности, которая может быть достигнута при применении источника тепла с температурой ниже 275 ^{o}C. Поэтому выработка электрической энергии путем использования избытка тепла из процесса производства цемента может считаться технически возможной альтернативой для тепловых электростанций, использующих водяной пар, если для этого имеются определенные предпосылки.

Результаты, полученные на немецком цементном заводе, указывают, что до 1,1 мегаватт электроэнергии может быть выработано с использованием указанного метода. Это было достигнуто путем охлаждения клинкера потоком воздуха мощностью 14 мегаватт и температурой отходящих газов 300 ^{o}C [76, 78, 79, 133].

Более подробная информация относительно использования избыточных горячих газов для выработки электрической энергии с помощью традиционного паро-водяного цикла или органического цикла Ранкина, а также примеры заводов, где используются эти технологии, могут быть получены в разделах 1.4.2.4 и 4.2.3.

1.2.6 Помол и складирование цемента

1.2.6.1 Складирование клинкера

Клинкер и другие компоненты для производства цемента хранятся в силосах или закрытых складах. Большие запасы могут складироваться на открытых площадках; в этом случае необходимо использовать меры предосторожности против образования пыли.

Большинство обычных клинкерных складов представляют собой:

- прямые штабельные склады с гравитационной разгрузкой (ограниченная сохраняемость материала);
- кольцевые штабельные склады с гравитационной разгрузкой (ограниченная сохраняемость материала);
- клинкерные силосы (при разгрузке клинкера из силоса до определенного уровня могут появиться проблемы с зависанием материала; хорошая сохраняемость материала);
- куполообразный клинкерный склад (ограниченная сохраняемость материала).

1.2.6.2 Помол цемента

Портландцемент получается путем совместного помола портландцементного клинкера с сульфатсодержащим материалом – гипсом или ангидритом. В смешанных цементах (композитных цементах) могут присутствовать и другие компоненты – гранулированный доменный шлак, зола – унос, природные или искусственные пуццоланы, известняк или инертный филлер. Эти последние могут измельчаться совместно с клинкером и гипсом или сушиться и измельчаться раздельно. Помольные заводы могут располагаться отдельно от заводов, выпускающих клинкер.

Способ помола цемента или дизайн помольной установки зависят от типа производимого цемента. При этом необходимо принимать во внимание такие характеристики цемента, как его размолоспособность, влажность и абразивность компонентов.

Большинство мельниц работает в замкнутом цикле, при котором цемент с заданной тонкостью помола отделяется от измельченного материала, а крупка направляется на доизмельчение.

При производстве белого цемента окончательный помол является одной из основных операций, для которой следует использовать высокочистый гипс. Для повышения тонкости помола или снижения времени помола используются так называемые интенсификаторы помола в количестве до 1 % от массы цемента, что приводит к повышению степени белизны цемента на 5 – 7 %. Кроме того, в состав белого цемента могут добавляться в относительно небольшом количестве тонкоизмельченные добавки – филлер, такие, как белый мрамор, кварц, чистые силикагель, слюда или тальк, каолин или метакаолин, а также порошки, содержащие следы TiO_2.

1.2.6.2.1 Дозировка компонентов портландцемента

Точная и постоянная дозировка компонентов портландцемента является необходимым условием поддержания высокой эффективности помольной системы. Для этой цели наиболее часто используются весовые ленточные питатели-дозаторы.

1.2.6.2.2 Помол цемента

Благодаря большому разнообразию типов цемента, требуемых цементным рынком, современные помольные системы оборудованы в основном динамическими воздушными сепараторами.

Для тонкого измельчения цементов обычно используются следующие помольные системы:

- шаровые барабанные мельницы замкнутого цикла (при этом содержание минеральных добавок в цементе может быть ограничено, если не осуществляется их сушка в мельнице или перед подачей в мельницу);
- вертикальные валковые мельницы (наиболее пригодны при большом количестве вводимых добавок благодаря их высокой сушильной производительности, а также для отдельного размола минеральных добавок;
- Пресс-валки (при этом ввод минеральных добавок ограничивается, если не осуществляется предварительная сушка добавки).

Другие используемые помольные системы:

- трубная мельница открытого цикла;
- трубная мельница замкнутого цикла с воздушно-проходным, центробежным сепаратором или сепаратором с выносными циклонами старого поколения;
- горизонтальные роликовые мельницы.

Шаровые (трубные) мельницы имеют диаметр корпуса до 6 м и длину до 20 м включительно. В зависимости от заданной тонкости помола в качестве мелющих тел используются стальные шары различного размера. Этот тип мельницы легко эксплуатируется в стабильных условиях и имеет высокую надежность и пригодность. Ввод минеральных добавок ограничен при их высокой влажности, поэтому они должны подвергаться сушке горячими газами, проходящими через мельницу, или путем использования тепла процесса измельчения. Однако в сравнении с другими типами мельниц шаровые мельницы потребляют повышенное количество энергии и стоят последними в ряду известных мельниц по энергетической эффективности.

Принцип работы *вертикальных роликовых мельниц* основан на действии от двух до четырех мелющих роликов, закрепленных на шарнирных кронштейна и перекатывающихся по горизонтальной измельчающей плите или помольной чаше. Эти мельницы особенно пригодны для одновременного измельчения и сушки цементных материалов или шлака, поэтому вертикальные роликовые мельницы используются для помола материала с относительно высокой влажностью. Время прохождения материала через мельницу достаточно короткое для предотвращения гидратации цементного клинкера, например в случае помола шлакового цемента.

Сдвоенные пресс-валки высокого давления все еще имеют сравнительно большие эксплуатационные расходы. Сдвоенные пресс-валки высокого давления часто используют в сочетании с шаровыми мельницами.

Совсем недавно для помола цемента была разработана *горизонтальная роликовая мельница*. Она состоит из короткого горизонтального цилиндрического корпуса, опирающегося на гидродинамические или гидростатические подшипники. Корпус вращается венцовой шестерней. Внутри корпуса имеется горизонтальный ролик, который свободно вращается, с силой прижимаясь гидравлическими цилиндрами к внутренней поверхности корпуса. Материал измельчается, проходя в течение короткого времени между роликом и корпусом. Измельченный материал выходит из мельницы и направляется в сепаратор, который отделяет крупную фракцию, возвращает её в мельницу.

Сравнительные характеристики технологии измельчения показаны в разделе 1.3.3.2, Табл.1.19.

1.2.6.2.3 Измельчение минеральных добавок

Минеральные добавки обычно измельчаются совместно с клинкером и гипсом. Решение измельчать их отдельно в основном зависит от следующих факторов:

- процентного содержания минеральных добавок в конечном продукте и цементном производстве в целом;
- наличия дополнительной мельницы в рабочем состоянии;
- больших различий в размалываемости клинкера и минеральных добавок;
- влажности минеральных добавок.

Если требуется предварительная сушка минеральных добавок, она может осуществляться путем использования либо печных отходящих газов и/или газов, выходящих из холодильника, либо путем использования независимых источников горячего газа.

Системы совместного помола

Любые из упомянутых ранее систем для сухого/полусухого помола сырьевых материалов могут использоваться для совместного помола минеральных добавок с клинкером и гипсом. Однако большинство установок имеют ограничения по влажности смеси – от 2 до 4 % если не используются горячие газы для сушки материала. При повышенной влажности требуется предварительная сушка минеральных добавок в сушильном аппарате. Исключением являются вертикальные роликовые мельницы, которые способны перерабатывать материал с влажностью до 20 %, однако и они требуют подачи горячего газа.

Системы раздельного помола

Для раздельного помола минеральных добавок могут использоваться помольные установки для сухого/полусухого помола сырьевых смесей. Однако, с учетом влажности компонентов, необходимо также использовать системы предварительной сушки материала.

1.2.6.2.4 Разделение частиц по размерам путем сепарации

Разделение частиц, выходящих из мельницы, по размерам (сепарация) оказывает значительное влияние на качество цемента. Сепарация достигается применением специальных установок – так называемых воздушных сепараторов. Воздушные сепараторы последнего поколения с роторами в виде многоэтажных лопастных клеток имеют ряд преимущества в сравнении с предыдущими конструкциями:

- низкое потребление энергии помольной системой (меньшее переизмельчение продукта);
- повышенная эффективность;
- возможность охлаждения продукта;
- высокая гибкость в установки тонкости помола продукта;
- лучший контроль распределения частиц по размерам, лучшая однородность продукта.

1.2.6.2.5 Снижение содержания шестивалентного хрома в цементах

Поскольку цемент производится из природных сырьевых материалов, содержание в нем хрома неизбежно и может изменяться значительных пределах. Главный источник хрома в портландцементе – это природные сырьевые материалы: известняк, песок и особенно глина. В меньшей степени хром привносится с топливом (обычным или в виде топливных отходов). В связи с вариациями химического состава природных материалов содержание хрома в цементе может заметно колебаться. Часть хрома может быть представлена в растворимой в воде форме, в виде так называемого шестивалентного хрома – хрома (VI).

В 2003 году Национальным Институтом Профессиональных заболевания была произведена эпидемиологическая оценка наличия аллергического дерматита у рабочих строительной индустрии, связанной с содержанием шестивалентного хрома в цементе. В заключении этой работы сказано, что главным источником хрома в цементе являются сырьевые материалы, огнеупоры и хромсодержащая грунтовая почвенная среда. Относительный вклад этих источников может быть разным в зависимости от содержания хрома в сырьевых материалах и производственных условий. При помоле клинкера шарами, изготовленными из сплава, содержащего 17-28 % хрома, количество шестивалентного хрома в цементе увеличивается более чем в 2 раза по сравнению с его содержанием в исходном клинкере.

Растворимый в воде шестивалентный хром может накапливаться на незащищенной коже. Он может вызвать аллергический дерматит (так называемая «цементная экзема»), а также дерматитовое раздражение, причиняемое щелочами, выделяющимися при смешивании цемента с водой.

Директива Европейского Сообщества по хроматам (2003/53/EC) ограничивает сбыт и использование цемента с содержанием шестивалентного хрома более 0,0002 % (2 промилле). В основном в цементной промышленности невозможно снизить содержание хрома в цементе, поскольку главным его источником являются сырьевые материалы. Поэтому в 2007 году для снижения количества водорастворимого хрома в цемент стали вводить компонент, обеспечивающий его уменьшение. В Европе главными компонентами, уменьшающими количество растворимого хрома, являются сульфат железа и сульфат олова [86, 103, 111].

1.2.6.3 Складирование цемента

Для подачи цемента в силос используется как пневматический, так и механический вид транспорта. Обычно механическая система имеет более высокое капиталовложение, но намного меньшую эксплуатационную стоимость, чем пневматический транспорт. Объединение пневматического конвейера или винтового транспортера (шнека) с ковшовым элеватором является наиболее применяемой транспортной системой.

Различные цементы складируются в отдельные силоса. Обычно различные силоса предназначены для хранения определенного класса цементов. Однако новые проекты силосов позволяют хранить более одного типа цемента в одном и том же силосе. Конфигурации используемых силосов для хранения цемента могут быть следующими:

- одноячейковый силос с разгрузочным хоппером;
- одноячейковый силос с центральным конусом;
- многоячейковые силосы;
- куполообразный силос с центральным конусом.

Для инициации и поддержания процесса выгрузки цемента из силоса используется сжатый воздух, подаваемый в аспирационные коробки, расположенные в днище силоса.

1.2.7 Упаковка и отгрузка

Цемент подается из силоса либо непосредственно навалом в железнодорожные вагоны или судовые трюмы, либо на упаковку.

1.3 Современные уровни потребления и выбросов

Следует отметить, что, если настоящим документом не упоминается другое, для раздела, посвященного цементной промышленности, стандартными условиями для измерения объемов и концентрации дымовых газов являются следующие, которые также излагаются в Словаре:

$м^3$/ч	Объемный расход: если в настоящем документе не оговаривается иначе, объемный расход измеряется при содержании в газе 10 объемных % кислорода и стандартным условиям
мг/$Нм^3$	Концентрация: если в настоящем документе не оговаривается иначе, концентрации газовых веществ или их смесей относятся к сухому газовому потоку с 10 объемными % кислорода в стандартном состоянии
стандартное состояние	Соответствует сухому газу при температуре 273 К и давлении 1013 Па

Необходимо отметить, что степень выбросов относится к эталонному газу с содержанием кислорода 10 %, хотя действительное количество кислорода в отходящих газах меньше 10 %, например, 3%. Формула пересчета для определения концентрации выбросов при данном содержании кислорода в газовой смеси:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \cdot E_M \text{, где}$$

E_R – концентрация выбросов, относящаяся к уровню кислорода 10 об. %, мг/$Нм^3$;
O_p – уровень кислорода в смеси, об. %;
$E_м$ – концентрация выбросов, относящаяся к измеренному уровню кислорода, мг/$Нм^3$;
$O_м$ – фактический уровень кислорода, об. %.

Дополнительная полезная информация по мониторингу выбросов содержится в Справочном документе по основным принципам МОНИТОРИНГА [15].

Основным предметом обсуждения по окружающей среде, касающегося цементной промышленности. являются выбросы в атмосферу и использование энергии. Выбросы в водную среду обычно являются поверхностными и, принимая во внимание охлаждение воды. не приводит к растворению веществ в воде и её загрязнению. Хранение и подготовка топлива являются потенциальным источником загрязнения почвы и грунтовых вод.

Целью расчета материального баланса является определение массы входящих и выходящих из системы компонентов, принимая во внимание закон сохранения масс.

Оценка всех статей материального баланса требует первичного знания данных процесса, таких, как состав сырьевых материалов и топлива, газовых потоков в печи и холодильнике, а также массы входных и выходных потоков:

- входные потоки:
  - сырьевые материалы (обычные и/или отходы);
  - энергия (топливо (обычное и/или отходы и/или биомасса), электрическая энергия);
  - вода (включая влажность топлива, влажность сырьевых материалов, влажность воздуха и воду, вводимую в сырьевой шлам);
  - воздух (первичный воздух, воздух для транспортировки материалов, воздух для охлаждения и утечки воздуха);
  - вспомогательные материалы (минеральные добавки, упаковочные материалы).
- выходные потоки:
  - клинкер,
  - производственные потери / отходы (уловленная пыль);

– выбросы в атмосферу (пыль, NO_x, SO_x, шум и др.);
– выбросы в воду (при мокром способе).

Используются следующие исходные данные для расчета:

- способ производства – сухой, пятиступенчатый циклонный теплообменник с декарбонизатором, колосниковый холодильник, вертикальная сырьевая мельница;
- топливо: 100 % нефтяной кек;
- расход тепла на обжиг: 3300 кДж/кг клинкера;
- теплотворная способность топлива: 33500 кДж/кг топлива;
- питание печи: 1.66 кг/кг клинкера стандартный химический состав сырьевой смеси;
- удельный расход сырьевых материалов : 1.52 кг/кг клинкера и при влажности сырья 5 %;
- влажность воздуха: 1 %;
- сырьевая мельница:
  – подсос воздуха: 30 %;
  – впрыск воды: 0.5 % от питания печи;
- доля клинкера в цементе: 0.8.

Материальный баланс производства 1 кг цемента при использовании сухого способа производства с нефтяным кеком в качестве топлива показан на Рис. 1.19.

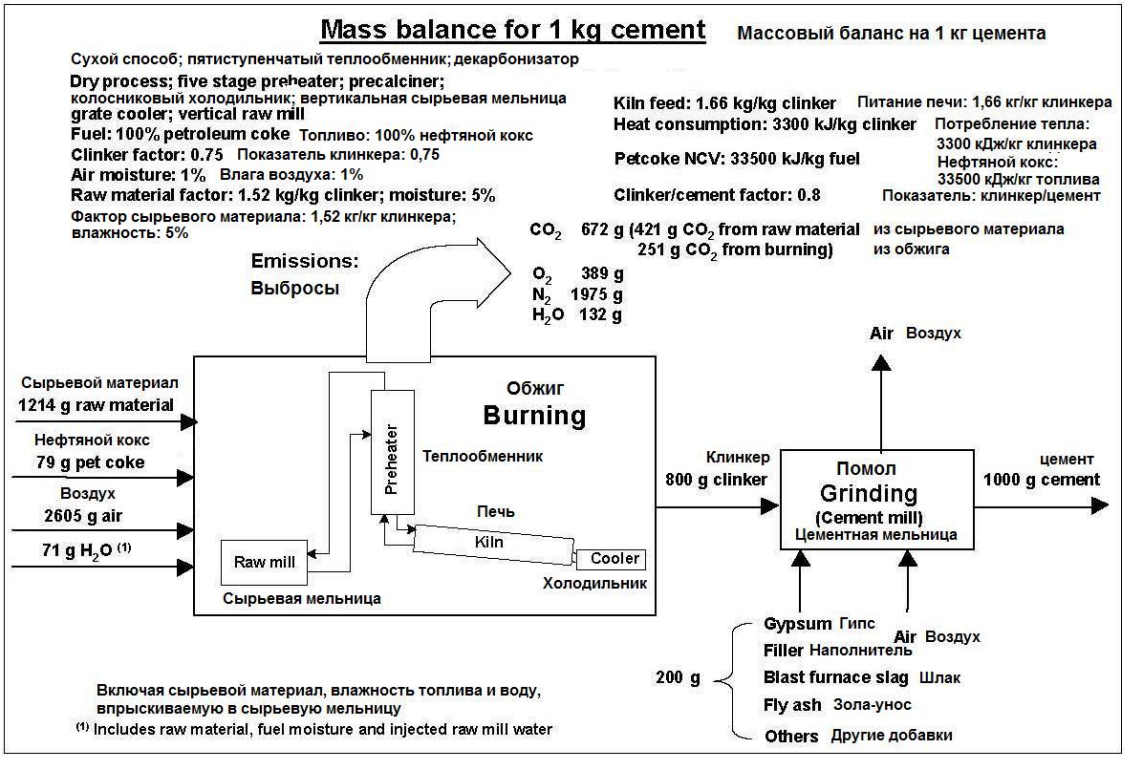

Рис.1.19. Материальный баланс производства 1 кг цемента при сухом способе производства [103]

1.3.1 Потребление воды

Вода используется на ряде стадий производственного процесса. В некоторых случаях вода используется только для подготовки сырьевых материалов (шлама), а также в процессах обжига и охлаждения, для охлаждения газов. В полусухом способе вода используется для гранулирования сухой сырьевой смеси. Заводы, работающие по мокрому способу, используют больше воды (на тонну выпущенного цемента) для приготовления шлама и типично потребление воды составляет 100 – 600 литров на тонну клинкера. В некоторых случаях вода используется для охлаждения клинкера в количестве до 5 $м^3$/ч. В

большинстве случаев используется не питьевая вода, а так называемая технологическая [45, 75, 81, 103, 120].

1.3.2 Потребление сырьевых материалов

Цементное производство является материалоемким процессом. Цифры Табл.1.15 показывают среднее потребление сырьевых материалов для производства цемента в странах ЕС. Цифры в последней колонке таблицы являются показателями завода мощностью 3000 т/сут. по клинкеру или 1 млн.т/год, что соответствует 1.23 миллионам тонн цемента в год при содержании клинкера в цементе, характерном для стран ЕС.

Таблица 1.15. Потребление сырьевых материалов при производстве цемента [9]

Материал (в сухом состоянии)	на 1 тонну клинкера	на 1 тонну цемента	на 1 млн тонн клинкера в год
Известняк, глина, сланец, мергель и др.	1.57 т	1.27 т	1568000 т
Гипс, ангидрит	-	0.05 т	61000 т
Минеральные добавки	-	0.14 т	172000 т

1.3.2.1 Потребление отходов в качестве сырьевых материалов

При обжиге клинкера отходы могут заменять значительное количество сырьевых материалов (см. раздел 1.2.4.). Количество используемых в качестве сырьевых материалов отходов при производстве клинкера с 2001 году увеличилось более чем в 2 раза. В 2004 году использование отходов в качестве сырьевых материалов позволило цементной промышленности сохранить почти 14 млн. т обычного сырья, что эквивалентно потреблению 6.5 % природных сырьевых материалов.

Отходы, как сырьевые материалы для производства портландцементного клинкера характеризуются химическим и компонентным составом. Эти отходы могут влиять на процесс выбросов и сами выбросы. Влияние выбросов обсуждается в разделе 1.3.4.13. В Табл. 1.16 приводится элементный состав отходов, использованных в 27 странах ЕС в 2003 и 2004 годах в качестве сырьевых материалов для производства клинкера. Рис.1.20 показывает долю различных отходов, используемую 20 странами ЕС.

Таблица 1.16. Элементный состав отходов, использованных в 27 странах ЕС в 2003 и 2004 годах в качестве сырьевых материалов для производства клинкера [74, 103].

Отходы, используемые в качестве сырьевых материалов			
Элемент	**Отходы, содержащие данный элемент**	**Потребление в 2003 г., млн.т.**	**Потребление в 2004 г., млн.т.**
Si	Отработанный песок литейных форм	1.52	1.50
Ca	Помышленная известь Известковые шламы Карбидные шламы Шламы водоочистки	2.20	2.44
Fe	Пиритные огарки Синтетический гематит Окалина	3.29	3.37
Al		0.71	0.69
Si – Al – Ca – Fe	Зола Шлаки	3.37	3.78
Почва	Отходы дробления	0.45	0.50
S	Гипсовые отходы		
F	CaF_2 Шламы фильтрации		
Другие		1.56	1.71
Итого		1310	13.89

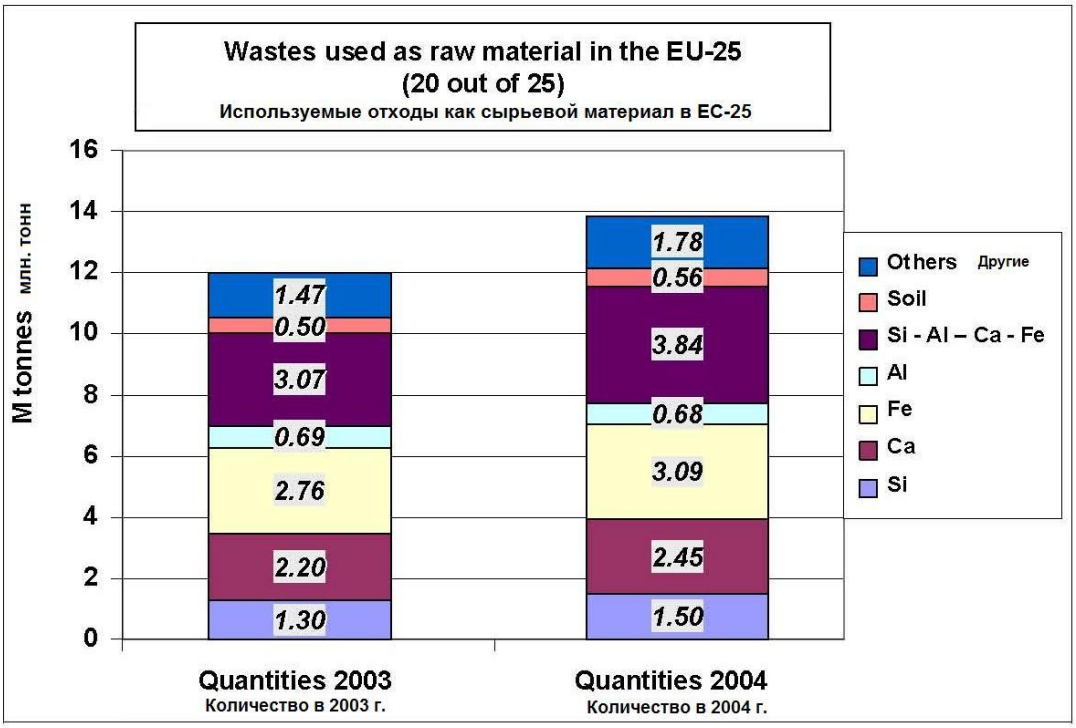

Рис.1.20. Отходы, используемые как сырьевые материалы в 20 странах ЕС [74]

Потребление отходов при помоле цемента также увеличивается. Сообщается, что использование сланцевой золы за период с 2000 до 2005 г. удвоилось и достигло 100000 т/год.

1.3.3 Использование энергии

Цементная промышленность является энергоемким производством, зависящим от используемого способа производства. При производстве цемента используется два типа энергии: топливо и электрическая энергия. Энергетическая эффективность (тепловая и электрическая) в течение многих десятилетий была приоритетной в Европейской цементной промышленности как часть общей коммерческой деятельности предприятия для решения экономических и технологических задач [103].

1.3.3.1 Потребление тепловой энергии

Теоретическое количество потребляемой тепловой энергии (топлива) для получения клинкера определяется энергией, необходимой для реакций минералообразования клинкера в процессе обжига (1700 – 1800 МДж/т клинкера) и тепловой энергии, необходимой для сушки и подогрева сырьевых материалов, которая зависит, как показано в Табл. 1.17, от их влажности, В современных печах с циклонными теплообменниками число циклонов может лимитироваться химическим составом сырьевых материалов.

Таблица 1.17. Тепловая энергия, необходимая для сушки сырьевой смеси [137]

Характеристика	Ед. измерения	Влажность сырьевой смеси, масс.%			
		3	6	9	12
Число циклонов	-	6	5	4	3
Требуемая энтальпия для сушки	МДЖ/т кл.	150	290	440	599

Удельные расходы тепла на обжиг клинкера в зависимости от типа печей, их размеров и типов выпускаемых цементов представлены в Табл. 1.18. Практика показывает, что

удельный расход тепла на обжиг клинкера заводами, работающими по сухому способу с многоступенчатыми циклонными теплообменниками и декарбонизаторами, изменяется от 3000 и может быть больше 3800 кДж/т клинкера (среднегодовая величина). Изменчивость этих показателей обусловлена пуском-остановкой агрегатов и различиями в свойствах сырьевых материалов. В Табл. 1.17. приводится оценка влияния влажности сырьевых материалов на удельный расход тепла для печей с циклонными теплообменниками.

Рис. 1.21 показывает удельные расходы тепла на обжиг клинкера в цементной промышленности в странах ЕС в 2004 году без различий между разными способами производства (сухой, полусухой, полумокрый или мокрый) и применяемого топлива (ископаемое топливо или отходы). Около 30 цементных заводов в 27 странах ЕС являются большими потребителями топливной энергии (более 5000 МДж/т клинкера) для выпуска специальных цементов, например, белого портландцемента (см. Табл. 1.18). На потребление тепла для производства белого цемента влияет более высокая температура обжига в сравнении с выпуском других типов клинкера (серого клинкера) [75, 84, 120].

Таблица 1.18. Удельные расходы тепла при производстве цемента в странах ЕС [75, 76, 84, 92, 120, 168]

Потребность тепловой энергии (МДж/т клинкера)	Процесс
3000 – 4000	Печи сухого способа, многостадийный (от 3 до 6 стадий) циклонный теплообменник и декарбонизатор
3100 – 4200	Вращающаяся печь сухого способа, оборудованная циклонными теплообменниками
3300 – 5400	Полусухой / полумокрый способ (печь Леполь)
до 5000	Длинные печи сухого способа
5000 – 6400	Длинные печи мокрого способа
3100 – 6500 и выше	Шахтные печи и печи для производства специальных цементов

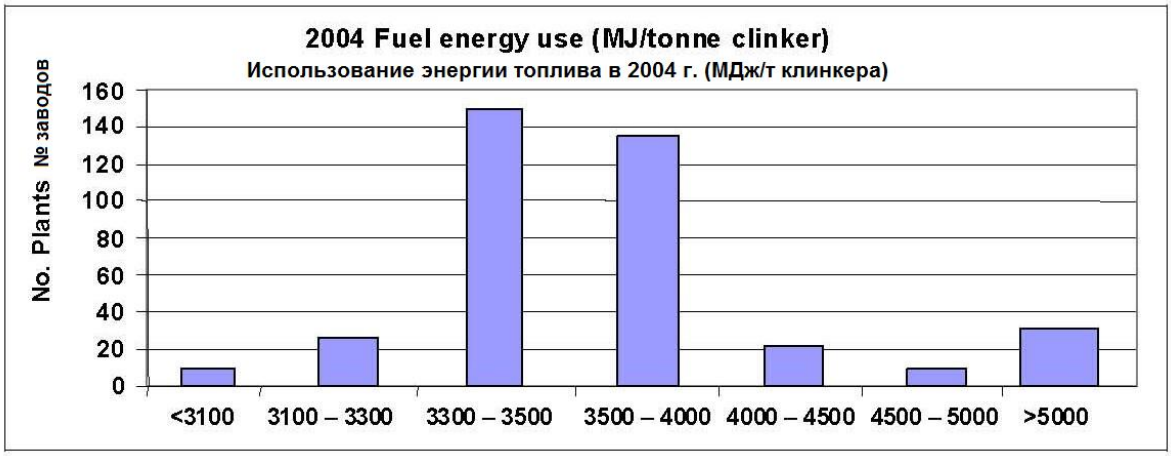

Рис. 1.21. Удельный расход тепла в цементной промышленности в 25 странах ЕС в 2004 году [84]

На удельный расход тепла на обжиг клинкера влияют такие факторы, как [92]:

- схема и конструкция линии обжига клинкера
  - количество ступеней циклонного теплообменника (три или шесть)
  - наличие декарбонизатора
  - использование третичного воздуха
  - использование сушильного агента в сырьевой мельнице

– отношение длины печи к ее диаметру
– тип клинкерного холодильника

- общее количество материала, проходящего через печь
- содержание влаги в сырьевых материалах и топливе
- свойства сырьевых материалов, их обжигаемость
- калорийность топлива
- тип клинкера
- гомогенизация и точность дозирования питания топлива, подаваемого в печь
- оптимизация процесса контроля, включая охлаждение пламени
- степень байпасирования газов.

Если используется смесь различных видов топлива, его удельный расход на тонну клинкера может изменяться в зависимости от типа топлива (обычное или топливные отходы), его характеристик (содержание влаги, калорийность, реакционная способность, крупность и т.п.).

Одним из главных факторов, увеличивающих потребление тепла, является подготовка ископаемого топлива, такого, как уголь или лигнит, которое в большинстве случаев требует сушки в отдельных от печи установках и даже на других заводах. Лигнит, например, может иметь влажность более 50 % и требует сушки до подачи его на цементный завод. При замене сухого топлива топливом с высокой влажностью потребление тепловой энергии на тонну клинкера увеличивается, но, в общем случае, это повышение может быть компенсировано экономией энергии на транспортировку и сушку топлива.

При сушке топлива эффективность процесса изменяется в зависимости от вида топлива; так при использовании тепла отходящих газов эффективности сушки может быть более высокой, тогда как при сушке топлива внутри печи расход тепла может увеличиваться в связи с необходимостью удаления содержащейся в топливе влаги. Некоторые виды топлив частично содержат влажные минералы, используемые в качестве сырьевых материалов. Эти материалы высушиваются в печной системе и могут также увеличивать удельный расход тепла на тонну клинкера.

Кроме того, замена топлива большим количеством топливных отходов в сочетании с их пониженной калорийностью и высокой влажностью, а также конструкция печи могут привести к повышенному расходу тепла, как показано на примерах Австрии и Объединенного Королевства (см. раздел 1.3.3.3). В случае, когда заводы приспособлены и спланированы специально для сжигания определенных типов топливных отходов, потребление тепловой энергии может оказаться на уровне между 3120 – 3400 МДж/т клинкера. Австрийские цементные заводы представили результаты 48-часовых испытаний, во время которых использовалось большое количество низкокалорийного топлива, содержащего влажный пластик, достигнув удельного расхода тепла на уровне 3400 МДж/т клинкера. В Объединенном королевстве потребление энергии в размере 3473 кДж/кг было достигнуто на печи, снабженной теплообменником с пятью циклонами. Однако утверждается, что имеется потенциальная возможность улучшения этих показателей [81, 92, 163, 168, 171].

1.3.3.2 Потребление электрической энергии

Главными потребителями электрической энергии являются мельницы (помол цемента и сырья), вытяжные вентиляторы и дымососы (печи, сырьевые и цементные мельницы), которые все вместе потребляют более 80 % электрической энергии. В среднем стоимость энергии – в форме топлива или электричества – составляет 40 % от общей стоимости затрат на производство тонны цемента. Электрическая энергия достигает 20 % общей потребности в энергии. Величина потребляемой электрической энергии колеблется от 90 до 150 кВт·ч/т цемента. В период между 2004 и 2006 годами стоимость электроэнергии возросла на 14 % при росте общей стоимости цемента на 25 %. Мокрый способ является более энергоемким, чем полумокрый или сухой способы [20, 84].
Расход электроэнергии обусловлен природой измельчаемого материала и особенностями процесса его измельчения. В некоторых случаях минимизация энергопотребления может

быть достигнута заменой старых сырьевых мельниц на новые. Табл. 1.19 дает обзор соотношения между потреблением энергии различными помольными установками. Следует отметить, что не всегда возможна замена одной мельницы другую. Более того, возможность такой замены определяется применением соответствующей технологии измельчения с учетом экономических аспектов.

Таблица 1.19. Сравнение технологий помола на основе ключевых характеристик [60, 76]

Процесс помола	Потребление энергии	Требуемый уход	Производительность по сухому	Способность измельчать до высокой тонины
Шаровая мельница	100%	малый	средняя	хорошая
Роликовая мельница	50–65%	от малого до большого	низкая[1)]	средняя
Вертикальная роликовая мельница	70–75%	средний	высокая	средняя
[1)] сушка в классификаторе				

1.3.3.3 Потребление топливных отходов

Для того, чтобы покрыть необходимую потребность в технологическом топливе используют топливные отходы и обычное топливо, причем за последние несколько лет использование топливных отходов все время увеличивается. В 2004 году в Европе было использовано 6.1 млн. тонн различных топливных отходов в качестве топлива для цементных печей. Из них более 1 млн. тонн были опасными. В 23 странах ЕС замена традиционного топлива топливными отходами заметно увеличивается, повысившись от 3 % в 1990 до почти 17 % в 2007 году, что эквивалентно сохранению 4 млн. тонн угля [74].

Однако наблюдается большое различие между странами-членами со схожей возможностью к увеличению замены топлива на отходы. В 2007 году отдельные заводы уже достигли замены более 80 % топлива отходами. Вплоть до 100 % потребления тепла может быть обеспечено использованием топливных отходов при сухом способе, с печной установкой, оборудованной четырехступенчатым двухветвевым циклонным теплообменником и планетарным холодильником. Пример такого использования топливных отходов приведен в разделе 4.2.2.1.

Следует отметить, что калорийность топливных отходов изменяется в широких пределах – от 3 до 40 МДж/кг. Литературные источники показывают, что калорийность обычного топлива в среднем составляет 26 – 30 МДж/кг для угля, 40 – 42 МДж/кг для мазута, тогда как калорийность обычных твердых топливных отходов – 8.5 МДж/кг и только калорийность отходов на основе пластмасс достигает 40 МДж/кг [143]. Топливные отходы с достаточной величиной калорийности могут заменить ископаемое топливо и привести к снижению его потребления. Для этого печи, предназначенные для сжигания топливных отходов, должны быть оптимизированы, чтобы обеспечивать высокую энергетическую эффективность (см.раздел 1.3.3.1 и 1.4.2.1.3). В Табл.1.20 приведены типичные величины калорийности различных топливных отходов.

Таблица 1.20. Калорийность топливных отходов, используемых в странах ЕС [75, 168, 180]

Типы топливных отходов (опасные и неопасные)	Калорийность, кДж/кг
Дерево	приблизительно 16
Бумага, картон	3 – 16
Текстиль	до 40

Пластмасса	17 – 40
Горючие фракции сортировки бытовых отходов	14 – 25
Резина/шины	приблизительно 26
Промышленные шламы	8 – 14
Городские осадки сточных вод	12 – 16
Животные пищевые отходы и жиры	14 – 18, 27 – 32
Животные пищевые отходы (животные остатки)	14 – 21,5
Отходы угля/углерода	20 – 30
Сельскохозяйственные отходы	12 – 16
Твердые отходы (пропитанные древесные опилки)	14 – 28
Растворители и относящиеся к ним отходы	20 – 36
Нефть и нефтяные отходы	25 – 36
Битумный сланец на основе топливной смеси (85-90% битумного сланца)	9,5
Сточные осадки (влажность более 10%)	3 – 8
Сточные осадки (влажность от 0 до 10%)	8 – 13

Следует отметить, что в зависимости от различных факторов (см. раздел 1.4.2.1.3) среднегодовой удельный расход тепла может увеличиваться, как показано в нижеприведенных примерах, относящихся к Соединенному Королевству и Австрии.

На заводах Объединенного Королевства калорийность используемых топливных отходов, представляющих собой городские, коммерческие и промышленные отходы, изменяется от 15 до 23 МДж/кг. Тем не менее, на одном заводе замена топлива отходами составляет 25 % от всего используемого топлива, что эквивалентно 30000 тонн угля. Поскольку калорийность топливных отходов ниже, их требуется 44118 тонн [153, 154]. Другой пример показывает, что 125000 т топливных отходов должно быть использовано для замены 100000 т угля. Это относится к более 20 % используемых топливных отходов [81].

В Австрии между 1997 и 2004 годами использование ископаемого топлива постоянно уменьшалось, в то время как количество сжигаемых отходов увеличилось с 19 % в 1997 г. до 47 % в 2004 г. Потребность в тепловой энергии первоначально снизилась с 3554 до 3481 МДж/кг клинкера. Однако в течение 2000 – 2004 годов топливная смесь значительно изменилась (см. раздел 4.2.2.2, Табл.4.21); при этом количество угля в смеси снизилось с 44.9 до 17.6 % и в то же время значительно увеличилась доля потребления нефтяного кека (с 3.2 до 16 %), отходов пластмассы (с 9.1 до 17.6 %) и других топливных отходов (с 2.4 до 10.2 %) [92].

Дополнительная информация о калорийности различных видов отходов может быть найдена в справочном документе по НДТ при сжигаемых отходов [57].

Увеличение использования безопасных топливных отходов является более значимым, чем увеличение использования опасных отходов. Это отражает тенденции развития общества (увеличение сточных шламов, животных кормов, городских отходов), а также повышенное внимание к классификации отходов. Замещение технологического топлива в среднем на 17 % топливными отходами показывает, что использование отходов в качестве топлива и сырьевых материалов в процессе обжига клинкера становится обычной практикой. Около 6 млн. тонн топливных отходов (около 10 %) являются биомассой. Величина замены используемых топливных отходов в 23 странах ЕС показана в Табл. 1.22 [74, 75, 76, 81, 92, 107, 112].

Потребление вредных и безопасных отходов, используемых как топливо для сжигания в цементных печах стран ЕС, показано в Табл.1.21 и на Рис.1.22. Общее потребление топливных отходов в цементных печах 27 стран ЕС увеличивалось в течение 2003 – 2004 годов [74].

Таблица 1.21. Потребление топливосодержащих отходов в цементных печах странах ЕС в 2003 – 2004 годах [74]

Типы топливных отходов					
№ групп -пы[1)]	Тип отходов	Количество в 1000 тонн			
		2003 г.		2004 г.	
		опасные	не опасные	опасные	не опас-ные
1	2	3	4	5	6
1	Дерево, бумага картон	0,000	214,991	1,077	302,138
2	Текстиль	0,000	19,301	0,000	8,660
3	Пластмасса	0,000	354,070	0,000	464,199
4	RDF	4,992	570,068	1,554	734,296
5	Резина/шины	0,000	699,388	0,000	810,320
6	Промышленные осадки	52,080	161,660	49,597	197,720
7	Городские осадки сточных вод	0,000	174,801	0,000	264,489
8	Животные пищевые отходы и жиры	0,000	1313,094	0,000	1285,074
9	Отходы угля/углерода	1,890	137,213	7,489	137,013
10	Сельскохозяйственные отходы	0,000	73,861	0,000	69,058
11	Твердые отходы (пропитанные древесные опилки)	164,931	271,453	149,916	305,558
12	Растворители и относящиеся к ним отходы	425,410	131,090	517,125	145,465
13	Нефть и нефтяные отходы	325,265	181,743	313,489	196,383
14	Другие	0,551	199,705	0,000	212,380
Общее		975,119	4502,435	1040,247	5133,353
[1)] каждая группа соответствует EWC, перечисленным в табл. 4.1, разд. 4.2.1					

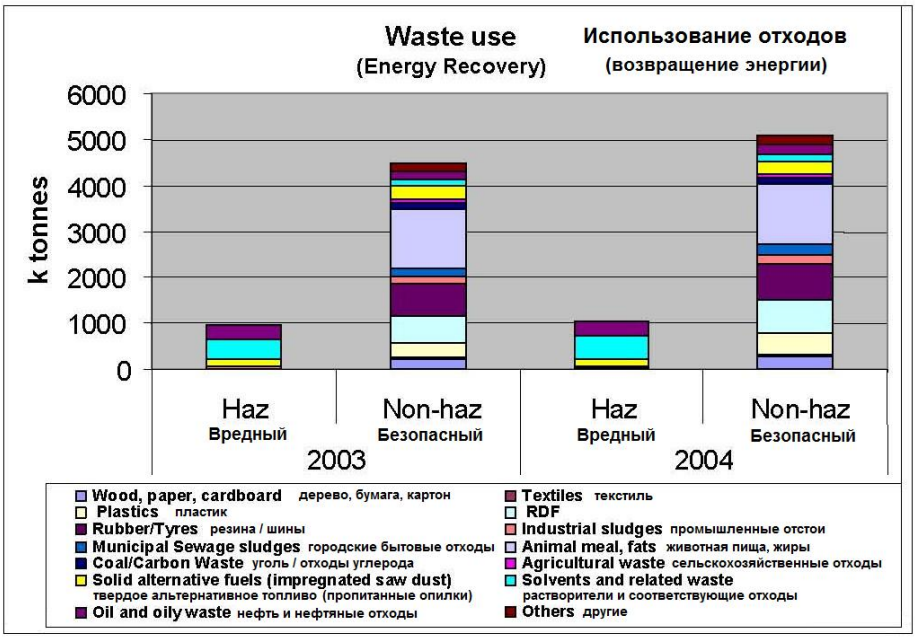

Рис. 1.22. Использование различных видов опасных и безопасных топливосодержащих отходов в качестве топлива для производства цемента в странах ЕС [74]

Таблица 1.22. Замещение топлива топливосодержащими отходами для производства цемента странах ЕС [168, 178]

Страна	Разрешенная величина для топливных отходов (т/год)		Количество отходов (т/год)		Проценты от топливных сбросов (%)			
					Опасные отходы		Безопасные отходы	
	Национальный уровень [1]	Национальный средний	Национальный уровень [1]	Национальный средний	Национальный уровень [1]	Национальный средний	Национальный уровень [1]	Национальный средний
Австрия[3]	10000-35000	-	9500-39000	30000	30-45	12	15-50	35
Бельгия, Нидерланды, Люксембург	-	-	58500 - 402000	138930	0-25	11	21 -30	24
Чешская республика	90000 [2]	-	-	40000	0-40	15	0-100	37
Дания, Финляндия, Швеция, Норвегия, Ирландия	300000 [2]	-	22000 - 120000	75000	2-20	15	24-35	32
Эстония, Латвия, Польша, Венгрия	15000-380000	125000	8000 - 67369	27271	13,4-14	13,7	16-26,1	17,5
Франция	125000 - 265000	-	300-113000	37374	0-41,2	14	0,4-52	14,6
Германия	-	-	218157 [2]	56857	0-25	5,2	76[2]	43,6
Греция, Португалия, Румыния, Словения	20000-500000	20506	640-60000	9196	0-3,8	0,7	0,4-15,6	2
Италия	5000-115000	28000	5300-90600	13100	1,3-21	12	0,9-37	11,3
Испания	8800-100000	43000	2000-36000	15500	0-27,8	4,8	2-25	8,5
Соединенное Королевство	25000 - 788400	182337	0 - 55960	24086	0-27,6	6	0-40	7,8

Примечание: рисунки являются общими из ЕС-23+
[1] минимум – максимум
[2] максимум
[3] только показатели 2004 г.

1.3.4 Выбросы в воздух

При производстве цемента появляются выбросы в воздух и шум. Кроме того, при использовании отходов могут появиться запах, например, при складировании и переработке отходов (см. раздел 1.3.8). В данном разделе представлены величины выбросов в процессе производства цемента, включая все стадии процесса, складирование и переработку сырьевых материалов, добавок и топлива, в том числе топливных отходов.

Директива КПКЗ содержит список основных загрязнителей воздуха, которые принимаются в расчет, если они относятся к выбросам с фиксируемой величиной ограничений.

Применительно к цементному производству в список включены следующие отходы:

- оксида азота (NO_x) и другие соединения азота;
- диоксид серы (SO_2) и другие соединения серы;
- пыль;

- суммарные органические соединения, включая летучие органические соединения;
- полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны;
- металлы и их соединения;
- фтористый водород (HF);
- хлористый водорода (HCl);
- оксид углерода (CO).

В данный список не включен диоксид услерода CO_2, хотя он образуется в значительных количествах при производстве цемента. Общая информация, касающаяся выбросов CO_2, может быть найдена в Директиве 2003/87/ЕС Европейского Парламента и Совета от 13 октября 2003 года, устанавливающая разрешенные объемы выброса тепличных газов в Европейском сообществе и одобренных Директивой Совета 96/61/ЕС [99]. Кроме того, выбросы аммиака NH_3 могут быть значительными, особенно при использовании технических решений для снижения уровня выбросов оксидов азота NOx, например методом неселективного каталитического восстановления.

Основными выбросами в производстве цемента являются выбросы в воздух из печной системы. Это происходит вследствие физико-химических реакций, происходящих с сырьевыми материалами, а также при горении топлива. Главными составляющими отходящих газов цементной печи являются азот из воздуха, участвующего в горении топлива, CO_2, образующийся при разложении $CaCO_3$ и сгорании топлива, пары воды, появляющиеся в процессе сжигания топлива и из сырьевых материалов, избыток кислорода.

Во всех печных системах обжигаемый материал движется противотоком (навстречу) по отношению к топочным газам. Этот противоток влияет на величину выбросов, так как образуется своего рода кипящий слой. Многие компоненты, которые образуются при горении топлива и при превращении сырьевых материалов в клинкер, остаются в газовой фазе до тех пор, пока они не адсорбируются или конденсируются на движущемся материале.

Адсорбционная емкость материалов изменяется с изменением физико-химического состояния. Она зависит от положения внутри печной системы. Например материал, покидающий зону декарбонизации, имеет высокое содержание оксида кальция и поэтому высокую адсорбционную емкость, особенно для кислотных соединений, таких, как HCl, HF и SO_2.

Данные по выбросам из печей в период их работы приведены в Табл. 1.23. Величина выбросов из работающей печи в значительной степени зависит от природы сырьевых материалов, топлива, сроков эксплуатации и проекта завода, а также от требований местных органов управления. Например, концентрация примесей в известняке и общее содержания серы в сырьевых материалах влияет на величину выделений оксидов серы с отходящими газами.

Таблица 1.23. Выбросы из цементных печей в странах Европы [8, 9, 12,19, 29, 97, 168]

Выбросы из цементных печей Европейских цементных заводов [1)]			
Загрязнитель	мг/Нм^3	кг/тонну клинкера	тонн/год
1	2	3	4
NO_x (в пересчете на NO_2)	145 – 2040	0,33 – 4,67	334 – 4670
SO_2	до 4837 [2)]	до 11.12	до 11125
Пыль	0,27 – 227 [3)]	0,00062 – 0,5221	0,62 – 522
CO	200 – 2000 [4)]	0.46 – 4.6	460 – 11500
CO_2		пр. 672 г/т цемента	1.5456 млн. т
Общее количество органических ве-	1 – 60 [5)]	0,0023 – 0.138	2.17 – 267

ществ (в т.ч. летучих)			
HF	0.009 – 1.0	0.021 – 2.3 г/т	0.21 – 23.0
HCL	0.02 – 20.0	0.046 – 46 г/т	0.046 – 46
Полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны	0.000012 – 0,27 нг I-TEQ *)/Нм^3	0.0276 – 627 нг/т	0.0000276 – 0,627 г/год
Металлы 7)			
Hg	0 – 0.03[6)]	0 – 69 мг/т	0 – 1311 кг/год
Σ(Cd, Tl)	0 – 0.68	0 – 1564 мг/т	0 – 1564 кг/год
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co,Cu, Mn, Ni, V)	0 – 4.0	0 – 9200 мг/т	0 – 9200 кг/год

[1)] Показатели приведены для выхода газов 2300 м^3/т клинкера и при выпуске одного миллиона тонн клинкера в год. Уровни выбросов – среднегодовые и являются усредненными показателями, полученными на различной измерительной технике. Содержание O_2 – 10%.

[2)] Показатели по SO_2 замерены в отходящих газах 253 вращающихся печей. 11 измерений выходят за шкалу представленных величин, 7 – нулевые уровни, 3 колеблются от 0 до 10 и один выше 40. Высокие выбросы SO_2 ожидаются, когда сырьевые материалы содержат летучие компоненты (например, пирит). Они окисляются и переходят в SO_2 рано, в верхнем циклоне. SO_2 может быть связан сырьевой смесью при тонком измельчении сырьевого материала.

[3)] Показатели постоянных измерений в отходящих газах 253 вращающихся печей. 8 измерений выходят за шкалу измерений. Величины выбросов зависят от состояния оборудования.

[4)] В некоторых случаях выбросы CO могут быть выше 2000 мг/Нм^3 и достигать 5000 мг/Нм^3 (11,5 кг/т клинкера) благодаря снижению NO_x.

[5)] Среднесуточная величина 120 измерений, только несколько показателей превышали 60 мг/Нм^3 (вплоть до 122,6 мг/Нм^3 или 0,28 кг/т клинкера).

[6)] Собраны с 306 измерений со средней величиной 0,02 мг/Нм^3 и наибольшим показателем 0,57 мг/Нм^3 (1311 мг/т клинкера).

[7)] “0” означает уровень обнаружения

[*)] Международный эквивалент токсичности

Типичные объемы печных отходящих газов, выражаемые в м^3/т клинкера (сухой газ с температурой 273 К и давлением 101,3 кПа) колеблются в пределах 1700 – 2500 для различных печей [8]. Объем отходящих газов из печей с циклонным теплообменником и декарбонизатором обычно составляет около 2300 м^3/т клинкера (сухой газ с температурой 273 К и давлением 101,3 кПа).

Имеются также выбросы пыли из других источников, таких, как, пыль при помоле и при разгрузке сырьевых материалов, твердого топлива и продукта – цемента. Потенциально выбросы пыли возможны из любых точек складирования сырьевых материалов и твердого топлива, их транспортирования, включая погрузку цемента. Колебания величин этих выбросов могут быть значительными и если эти аспекты не учитываются конструкцией агрегата или установки, они могут привести к неприятным проблемам.

1.3.4.1 Пыль

1.3.4.1.1 Выбросы пыли

Традиционно выделения пыли, особенно из печных труб, являются одной из главных проблем для окружающей среды при производстве цемента. Главными источниками выделения пыли являются процесс приготовления сырьевых материалов, установки по измельчению и сушке, процесс обжига клинкера (печи и холодильники), подготовка топлива и установки для помола цемента (мельницы). Вспомогательные процессы на цементном заводе также могут привести к выделению пыли независимо от использования или не использования отходов. К ним относятся следующие процессы:

- дробление сырьевых материалов;
- транспортировка материалов транспортером или элеватором;
- складирование сырьевых материалов и цемента;
- мельницы для помола сырья, цемента и угля;
- складирование топлива (нефтяной кек, каменный уголь, лигнит);
- отгрузка цемента.

Во всех этих процессах большой объем газов проходит через пылящий материал. В случаях, подобных дроблению, помолу и отгрузке оборудование работает под небольшим разряжением и эти источники обычно оборудованы рукавными фильтрами. Конструкция и надежность современных электрофильтров и рукавных фильтров обеспечивают снижение пылевыделения до уровня, при котором они не являются значимыми. Уровень выбросов ниже 10 мг/нм^3 (среднесуточная величина) достигается для 37 % установок. Типы пылеулавливающих систем , количество пылеуловителей и уловленной пыли показаны в Табл.1.24.

На Рис.1.23 и Рис.1.24 показаны общие выбросы пыли, постоянно измеряемые на 253 вращающихся печах и обобщенные выбросы на основании периодических измерений на 180 вращающихся печах. Эти данные получены от различных заводов, расположенных в 27 странах ЕС и 23 странах ЕС+ других странах (см. Словарь). Большая часть выбросов пыли находится в пределах 0,27 и менее 30 мг/нм^3. Значения концентрации при постоянных измерениях показаны как среднегодовые величины из 24-х часовых измерений [97]. Измеренные величины относятся к 1 м^3 сухого газа в стандартных условиях.

Содержание пыли в газе (среднесуточная величина) на вращающихся печах, оборудованных электрофильтрами, составляет менее 10 – 30 мг/нм^3. При использовании рукавных фильтров величина среднесуточных выбросов пыли составляет 10 – 20 мг/нм^3 [92, 75, 76, 90, 112] .

Табл.1.24. показывает примеры некоторых типов электрофильтров и рукавных фильтров. Представленные величины и показатели в скобках относятся к экстремальным величинам, сообщаемых в некоторых отдельных случаях. Обзор также показывает оценку эффекта пылеулавливания и извлечение пыли (где это возможно). Сложное и прямое действие относится к эксплуатации мельниц (включение и выключение мельниц).

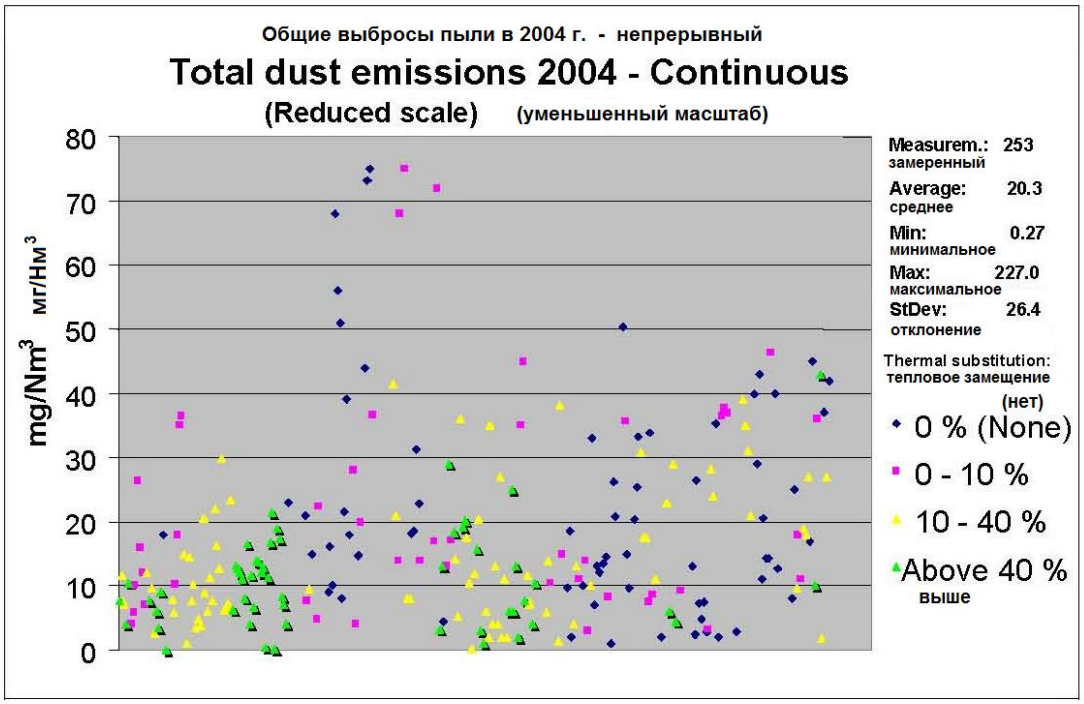

Рис. 1.23. Диапазон уровней выбросов пыли при непрерывном измерении на 253 вращающихся печах в странах ЕС [97]

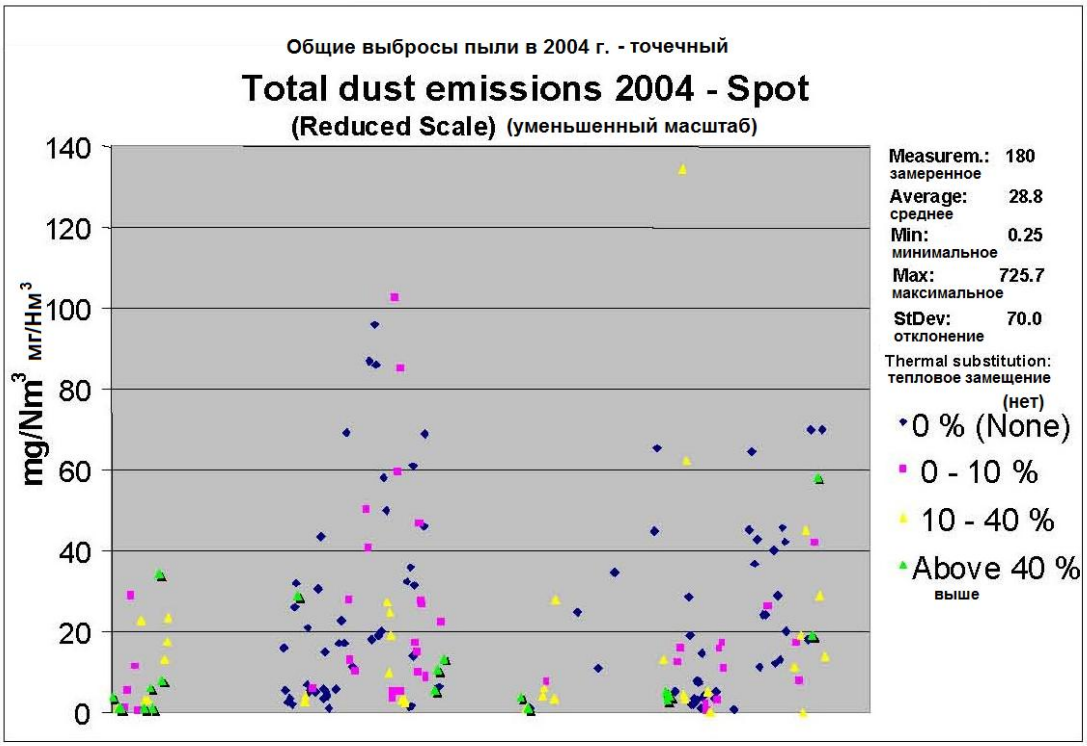

Рис. 1.24. Диапазон уровней выбросов пыли при периодических измерениях на 180 вращающихся печах в странах ЕС [97]

Таблица 1.24. Типы систем, используемых для улавливания пыли, эксплуатационные показатели и потребление энергии [76, 103]

Типы систем и эксплуатационные показатели			
Показатели	Ед.измер.	Электрофильтры	Рукавные фильтры
Год ввода установок в эксплуатацию		1962 – 2004	1999 – 2005
Потеря давления	Па	1 – 8	(2)[1)] 10 – 12
Температура	°С	90 – 190	90 – 160 [2)]
Потребность в эл.энергии	кВт·ч/т клинкера	1 – 4	0,1 – 0,2
Потребность в эл. энергии вентилятора	кВт·ч/т клинкера	0,15 – 1,2	1,5 – 1,8
Общая потребность в эл. энергии	кВт·ч/т клинкера	1,15 – 5,2	1,6 – 2,0
Количество пыли на входе и выходе из фильтров			
Показатели	Ед.измер.	Смешанная эксплуатация	Прямая эксплуатация
Количество пыли на входе	кг/т клинкера	54 – 144 (1718)[1)]	(10 – 70)[1)] 80-200
Количество пыли на выходе	кг/т клинкера	0 – 35	0 – 66 (165)[1)]
[1)] Относятся к экстремальным показателям, которые зафиксированы в некоторых отдельных случаях. [2)] 240 °С при использовании стеклотканей в мембранных фильтрах			

Электрофильтры должны отключаться в случае увеличения количества СО в отходящих газах в целях обеспечения безопасности. Чтобы предотвратить эксплуатационные затруднения, увеличение концентрации СО в отходящих газах и образование взрывчатой смеси должно быть надежно исключено. Необходима установка приборов автоматического контроля СО , чтобы постоянно производить необходимые измерения. В течение различных стадий процесса обжига в печи, а также в период отключения и последующего включения печи, СО появляется в различных количествах и в разное время. Сообщалось, что в Ирландии в 2006 г. в некоторых случаях при появлении СО наблюдалось пылевыделении от 60 до 130 мг/нм^3 (средняя величина за полчаса). Это явление фиксировалось от одного до шести раз в месяц. При этом сообщалось, что электрофильтр отключался на 1 – 13 мин. при общей продолжительности отключения 180 минут [159]. Однако в целом частота повышения концентрации СО минимизируется; например на цементном заводе в Германии общая продолжительность отключения электрофильтров составила всего 1 – 29 минут в год, что составляет менее 0,001 – 0,009 % общего времени эксплуатации печи, как показано в Табл. 1.25.

Таблица 1.25. Общее время повышения концентрации СО на цементных заводах Германии, вызвавшее отключение электрофильтров [168]

Год	Общая продолжительность:	
	минуты	% от общего времени работы печи
2000	12	0.003
2001	29	0.009
2002	1	< 0.001
2003	6	0.001
2004	5	0.001

1.3.4.1.2 Выбросы тонкодисперсной пыли размером частиц менее 10 и 2,5 мкм

Выбросы тонкодисперсной пыли, состоящей из частиц размером менее 10 и 2,5 мкм, появляются в виде твердых веществ или аэрозолей. Такой тип пыли является результатом

серии физико-химических реакций, например взаимодействием оксидов азота, серы и аммиака, реагирующих с образованием сульфатов и нитратов аммония. Эти частицы оказывают серьезное влияние на здоровье человека. В цементной промышленности частицы размером 10 и 2,5 мкм могут появляться в процессе обжига и охлаждения, однако и вспомогательные процессы (см. раздел 1.3.4.1.1) могут также привести к образованию тонкодисперсной пыли.

В течение последних нескольких лет развиваются различные методы, измерительные методики и приборы в сочетании с расчетными моделями для определения концентрации этих очень тонких фракций пыли на основе измерения общего содержания пыли в струе движущегося газа. Исследования, выполненные в Германии, показывают, что часть тонкой пыли выбрасывается независимо от общей концентрации пыли в отходящих газах. В Табл.1.26 показано, что при использовании электрофильтра в выбрасываемой пыли содержится до 90 % фракции менее 10 мкм и около 50 % фракции менее 2,5 мкм. Общее выделение пыли измеряется фильтром – пробоотборником (плоское фильтровальное устройство). Используются каскадные встряхивания для удаления пыли в изокинетических условиях и отделения особенно сегрегированных фракций из струи проходящего газа. Кроме того, образцы тонкой фракции пыли, эмитируемых на Ирландских цементных заводах, приведены в разделе 4.2.2.3. Следовательно, основная часть тонкой пыли может быть снижена путем снижения общего количества пыли. Заводы, оборудованные высокоэффективными обеспыливающими системами содействуют относительно образованию малого количества тонкодисперсной пыли [113, 117].

Таблица 1.26. Распределение тонкодисперсной пыли в общем количестве пыли на цементных печах в Германии

Источники выбросов		Общая концентрация пыли[1)] (мг/нм^3)	Фракция тонкой пыли (%)			Концентрация тонкой пыли (мг/нм^3)		
			< 2,5	<10	>10	< 2,5	<10	>10
			мкм					
Печь [2)]	Печные газы после электрофильтра	15.4	51	87	13	7.9	13.4	2.9
Холодильник клинкера	Газы из электрофильтра холодильника	14.0	68	99	1	9.5	13.9	≤ 0.1
Циклонный теплообменник, прямой способ [3)]	Печные газы после электрофильтра	2.3	84	97	3	1.9	2.2	≤ 0.1
Циклонный теплообменник , комбинированный способ [4)]	Печные газы после электрофильтра	4.8	66	97	3	3.2	4.7	≤ 0.1

[1)] Общее количество пыли, измеренное опытным образом фильтра (установка плоского фильтра), каскадное выделение по размерам
[2)] Печь Леполь, не останавливалась
[3)] мельница выключена
[4)] мельница включена

Исследования, выполненные во Франции, показывают, что частицы пыли размером 10 и 2,5 мкм представлены в количестве 60 % от общего количества пыли в отходящем газе (Табл.1.27). Методы снижения концентрации пыли и эффективность снижения на заводах Франции приведена в Табл.1.28.

Таблица 1.27. Концентрация пыли в отходящих газах до обеспыливания на цементных заводах Франции [172]

Параметр	Концентрация
Общее количество пыли	130 г/нм^3
Частицы размером менее 10 мкм	42 % от общего количества
Частицы размером менее 2.5 мкм	18 % от общего количества

Таблица 1.28. Методы обеспыливания и эффективность обеспыливания на заводах Франции [172]

Метод	Эффективность обеспыливания (%)		
	По общему количе-ству пыли	Частицы менее 10 мкм	Частицы менее 2,5 мкм
Циклон	74.4	52.86	30
Электрофильтр 1	95.8	94.14	93
Электрофильтр 2	98.982	97.71	96
Электрофильтр 3	99.767	99.51	99
Рукавный фильтр	99.784	99.51	99
Мокрый скруббер	98.982	97.71	96

1.3.4.1.3 Неорганизованные выбросы пыли

Неорганизованные выбросы пыли могут появиться при складировании и переработке материалов и твердого топлива из открытых складов, транспортеров сырьевых материалов и также из дорожных покрытий, вызываемых движением дорожного транспорта. Пыление при упаковке и отгрузке клинкера/цемента может быть также весьма значительным. Влияние неорганизованных выбросов может привести к общему увеличению выбросов пыли, так как процесс выброса пыли осуществляется со значительно большей поверхности.

Транспортеры и элеваторы конструируются как закрытые системы, если они предназначены для транспортировки пылящего материала. Дороги, используемые грузовыми автомобилями, устилаются и чистятся периодически, чтобы препятствовать диффузии пыли. Дополнительно применяется орошение водой для предотвращения распространения пыли. Где возможно, применяются закрытые помещения для складирования [76].

1.3.4.2 Оксиды азота

Процесс обжига клинкера является высокотемпературным процессом, в результате которого образуются оксиды азота. Эти оксиды представляют собой одни из ключевых загрязняющих веществ, выбрасываемых в воздух цементными заводаами. Они образуются в течение процесса обжига в результате связывания азота топлива с кислородом в пламени или связыванием атмосферного азота и кислорода воздуха, подаваемого для горения.

Имеются два источника для появления NO_x:

- тепловые NO_x:
  - часть азота в воздухе горения взаимодействует с кислородом с образованием оксидов азота;
  - основной механизм образования оксидов азота в печном пламени;
- топливные NO_x:
  - соединения, содержащие азот, химически связанные в топливе, реагируют с кислородом воздуха с образованием различных оксидов азота.

Небольшие изменения в выбросах NO_x наблюдаются при использовании отходов:

- содержание NO_x при сжигании отходов может быть ниже, если топливные отходы включают воду или требуют большего количества кислорода (влияние на температуру пламени, которая понижается). Эффект сравним с охлаждением пламени;
- содержание NO_x при сжигании топлива в декарбонизаторе может быть ниже, если грубоизмельченное топливо уменьшает зону горения [97];
- NO_x может также образоваться окислением NH_3, если последний впрыскивание в неадекватную температурную зоне печи для снижения концентрации NO_x.

Тепловой NO_x образуется при температуре около 1050 ^oC. Из-за необходимости получения качественного клинкера процесс обжига происходит в окислительной атмосфере, которая частично окисляет молекулярный азот из воздуха в пламени с образованием монооксида азота. Тепловой NO_x образуется в основном в зоне обжига, где количество его недостаточно для достижения указанной реакции. Количество тепловых NO_x, образующихся в зоне горения, зависит от температуры в зоне горения и количества кислорода (коэффициент избытка воздуха). Скорость реакции образования NO_x увеличивается с повышением температуры. Поэтому трудно обжигаемая смесь, которая требует создания более горячей зоны, будет способствовать большему образованию NO_x, чем легко обжигаемая смесь. Скорость реакции также увеличивается с повышением содержания кислорода (коэффициент избытка воздуха). Работа печи с повышенным содержанием кислорода на холодном конце приводит к повышению количества NO_x в зоне горения (хотя выделение SO_2 и CO может снизиться).

NO и NO_2 являются доминирующими оксидами азота в отходящих газах цементной печи. Топливные NO_x из азотсодержащих соединений топлива являются менее важными. Во вращающейся печи образование топливного NO (оксид азота) в зоне горения незначительно. Выделение NO_x обусловлено в большей степени за счет азота воздуха, подаваемого на горение, чем их образованием при окислении азотсодержащих соединений топлива. Расчетное количество NO составляет 95 % и NO_2 5 % в общем количестве оксидов азота в отходящих газах вращающихся печей [76, 92, 97]. Топливные NO_x накапливаются при горении азота, присутствующего в топливе, при более низкой температуре, преобладающей в установках вторичного сжигания топлива (декарбонизаторах). Азот топлива либо соединяется с другими атомами с образованием газа N_2, либо реагирует с кислородом с образованием топливного NO_x. В декарбонизаторе превалирует температура 850 – 950 ^oC, которая недостаточно высока для образования значительного количества теплового NO_x, но топливный NO_x в этих условиях может образоваться. Подобным образом и другие способы вторичного сжигания топлива в холодном конце печи, такие, как сжигание в газоходе перед первой ступенью запечного циклонного теплообменника или в камере колосникового теплообменника, могут увеличить количество топливного NO_x. Поэтому в печах с теплообменниками, где в теплообменнике может сгорать до 60 % топлива, образование топливного NO_x в значительной степени обусловливает увеличение общего количества выделяющегося NO_x. Образование тепловых NO_x в этих печах намного ниже в сравнении с печами, где все топливо сжигается в зоне обжига.

Выделение NO_x очень зависит от типа используемого процесса. Кроме температуры и содержания кислорода (коэффициент избытка воздуха) на образование NO_x может оказывать влияние форма пламени и температурный профиль, геометрия камеры горения, реакционная способность и содержание NO_x в топливе, присутствия влаги, длительность реакции горения и конструкции горелки.

Среднегодовое выделение NO_x из Европейских цементных печей составляет около 785 мг/нм^3 (в пересчете на NO_2) с минимумом в 145 мг/нм^3 и максимумом 2940 мг/Нм^3. В 2004 году были обобщены данные по выделению NO_x для различных заводов, находящихся в различных странах ЕС и разделены на категории по величине эквивалента теплового NO_x, как показано на Рис. 1.25 и Рис. 1.26. Непрерывные измерения концентрации в течение 24 часов представлены как среднегодовые показатели. Измеренная величина относится к сухому воздуху в стандартных условиях [94, 97].

В Австрии среднегодовые выбросы NO_x в 2004 году были 645 мг/нм^3 и колебались в пределах 313 – 795 мг/нм^3. Высший и низший показатели относятся к различным заводам. Все цементные печи в Австрии используют первичные способы снижения вредных выбросов, три печи работают с охлаждением пламени, две печи имеют двухстадийное сжигание топлива и пять печей оборудованы устройствами неселективного каталитического восстановления оксидов азота, из которых две печи являются пилотными. В 2007 году все цементные печи в Австрии были оборудованы устройствами неселективного каталитического восстановления оксидов азота [92].

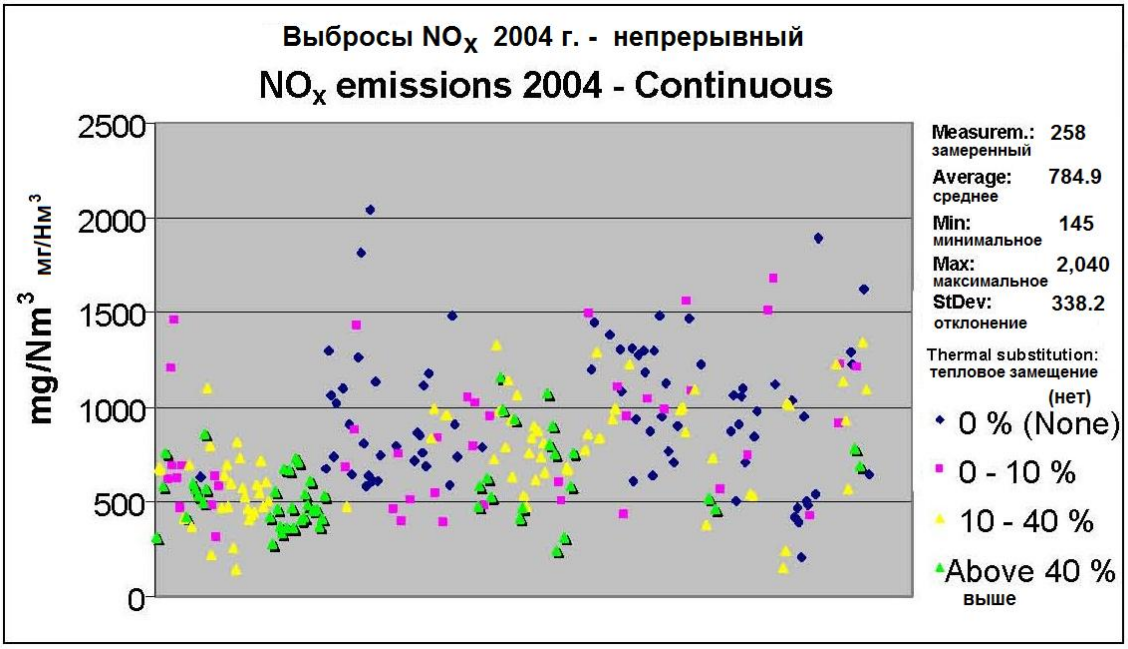

Рис. 1.25. Концентрации NOx (в пересчете на NO_2) из печей в 27 странах ЕС [97]

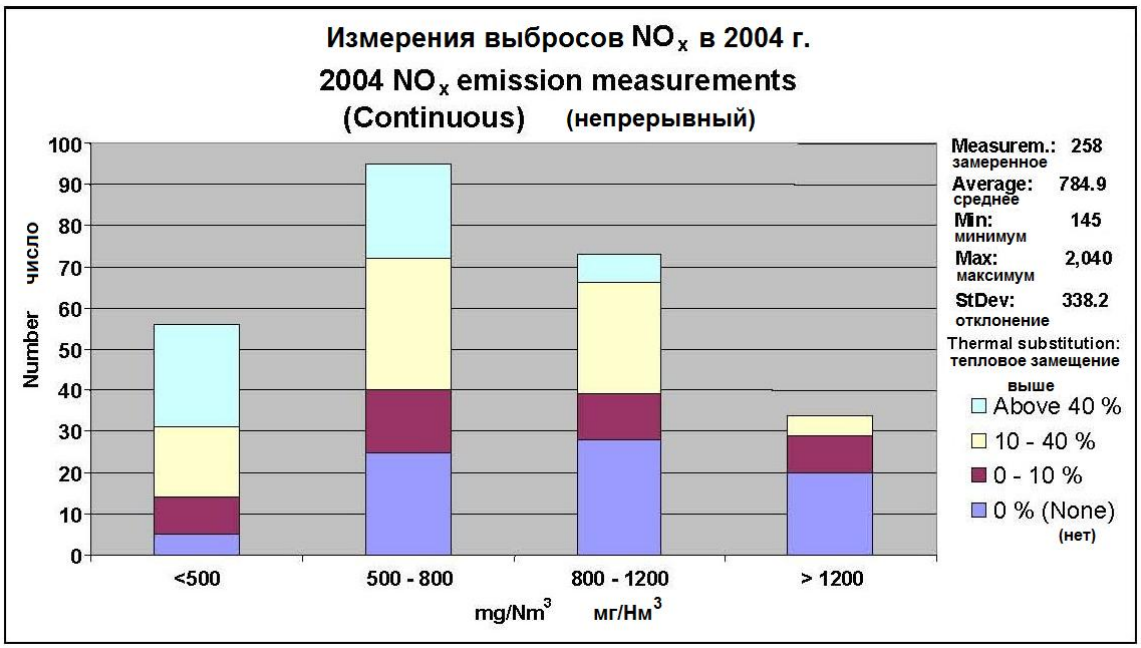

Рис. 1.26. Распределение измерений, распределенных по уровню эквивалента теплового NO_x

В Германии в 2006 году девять цементных печей работали по технологии двухстадийного сжигания топлива, в то время как 34 использовали технологию неселективного каталитического восстановления оксидов азота для снижения NO_x. Среднегодовая концентрация выбросов NO_x из 43 вращающихся печей составляла 200 – 800 мг/нм^3. С 2007 года благодаря национальному законодательству цементные печи Германии ограничивают выбросы NO_x на уровне 500 мг/нм^3. Большинство установок неселективного каталитического восстановления оксидов азота в Германии проектируются и эксплуатируются для снижения величины выделения NO_x до 10 – 50 % от установленной концентрации 500 мг/нм^3. В сочетании с интегрированными в процесс измерительными устройствами данная технология позволила достичь величины среднесуточных выбросов на уровне 200 – 500 мг/нм^3 в зависимости от индивидуальных ограничений при величине допускаемых выбросов в 500 мг/нм^3 [76, 168, 173].

В Швеции высокоэффективная технология неселективного каталитического восстановления оксидов азота внедрена с 1997 года на трех цементных печах. С тех пор длительное время выбросы NO_x находились на уровне около 200 мг/нм^3. Среднегодовая величина выбросов NO_x в 2004 году равнялась 221 мг/нм^3, в то время как среднемесячная величина колебалась от 154 до 226 мг/нм^3. Общие выбросы NO_x находятся в пределах от 130 до 915 тонн в год [114].

На цементных заводах Финляндии величина среднегодовых выбросов NO_x находится в пределах 500 – 1200 мг/нм^3 [63]. В Чехии величины выбросов NO_x находятся в пределах 400 – 800 мг/нм^3 [112]. Во Франции среднее количество NO_x, замеренное на 33 цементных заводах, составляет 666 мг/нм^3 [116]. На длинных печах мокрого способа в Дании применение технологии неселективного каталитического восстановления оксидов азота позволило уменьшить величину выбросов на 40 – 50 % и которые в настоящее время составляют менее 800 мг/нм^3 [182].

При производстве белого цемента некоторые материалы трудно обжигаются и требуют повышенной температуры пламени в зависимости от их кристаллографии и минералогии. В случае получения белого клинкера отсутствие плавней в сырьевой смеси приводит к повышению температуры обжига на 150 ^oC выше, чем при обжиге серого клинкера. Более высокая температура пламени приводит к образованию большего количества NO_x [120].

Технология снижения NO_x в цементной промышленности описана в разделе 1.4.5.1. Кроме того, число предприятий полного цикла, использующих в 2008 году технологию снижения NO_x в 27 странах ЕС и 23 странах ЕС+ представлено в Табл.1.33, в разделе 1.4.5.1.

Для снижения NO_x используется также охлаждение пламени. Сообщается, что использование данного метода позволяет снизить уровень выбросов на 10 – 35 %. Эти данные представлены на Рис.1.27. Уровень выбросов менее 500 мг/нм^3 был достигнут на двух заводах, величины 500 – 800 мг/нм^3 – на семи заводах и 800 – 1000 мг/нм^3 – на 11 заводах (среднегодовые показатели). Для сравнения на Рис.1.28 показаны уровни выбросов NO_x на заводах, которые не применяют охлаждение пламени. В настоящее время небольшое количество заводов успешно добиваются снижения величины выбросов NO_x.

На Рис. 1.29 и 1.30 показано, как использование технологии неселективного каталитического восстановления оксидов азота на цементных заводах позволило снизить уровень выбросов NO_x в сравнении с заводами, не использующими эту технологию (среднегодовые показатели).

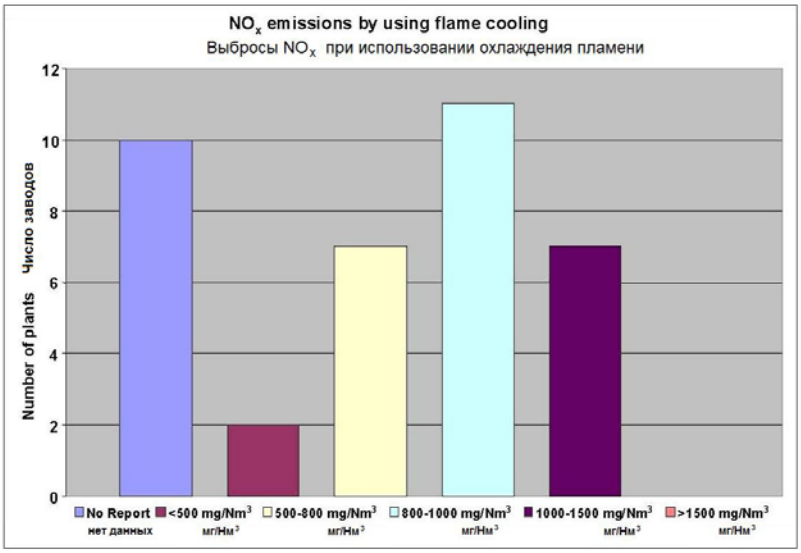

Рис. 1.27. Достигнутый уровень выбросов NO_x при охлаждении пламени на заводах в странах ЕС [85]

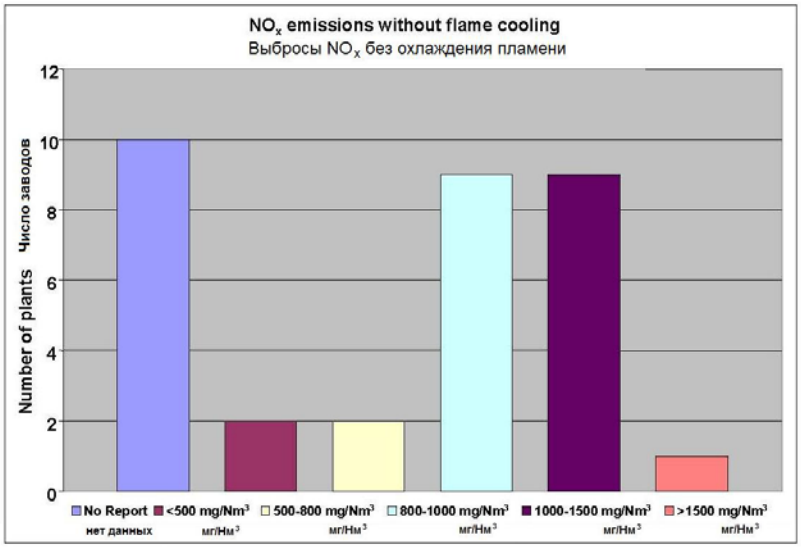

Рис. 1.28. Достигнутый уровень выбросов NO_x на заводах в странах ЕС, не использующих технологию охлаждения пламени [85]

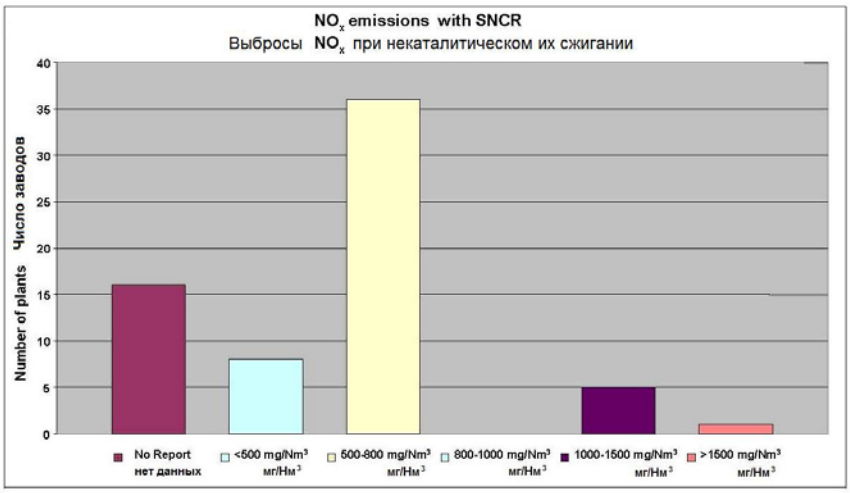

Рис. 1.29. Выбросы NO_x, достигнутые несколькими цементными заводами, использующими технологию неселективного каталитического восстановления оксидов азота [85]

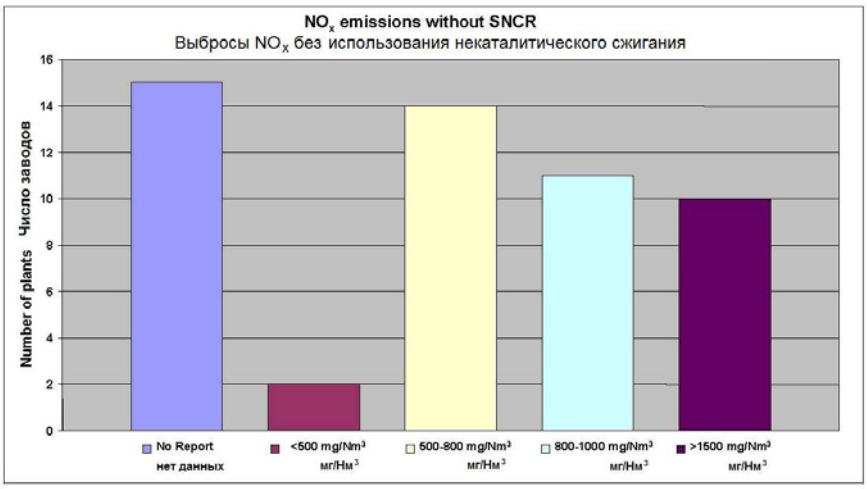

Рис. 1.30. Выбросы NO_x, достигнутые несколькими цементными заводами без использования технологии неселективного каталитического восстановления оксидов азота [85]

1.3.4.3 Выбросы диоксида серы

Выбросы SO_2 на цементных заводах зависят от общего количества сульфатных соединений, применяемого способа производства и в первую очередь определяются содержанием летучей серы в сырьевых материалах и в топливе. Потенциальные выбросы SO_x зависят от циркуляции серы в печи. Сера выбрасывается из печей в виде SO_2 в отходящих газах, $CaSO_4$ и других компонентов клинкера и пыли. Однако бо̀льшая часть серы соединяется (включается) в клинкер или выгружается из системы.

В зависимости от месторождения сырьевые материалы могут содержать серу в виде сульфатов и сульфидов. Сульфаты – это стабильные соединения, которые только частично разлагаются термически при высокой температуре в зоне спекания вращающейся печи, но разложение может увеличиться при наличии местной восстановительной среды при горении топлива и отходов. Следовательно, сера в форме сульфата более или менее полностью выходит из печи с клинкером при сохранении его качества. Сульфиды наоборот окисляются ещё в теплообменнике и частично выделяются в форме диоксида серы.

Сера, поступающая в печь с топливом, окисляется до SO_2 и не ведет к значительному увеличению выбросов благодаря наличию сильных щелочей в зоне спекания, зоне кальцинирования и на стадии подогрева. Сера вступает в зону кальцинирования вместе с небольшим количеством SO_2, образующегося в результате частичного разложения сульфатов в зоне обжига. В зоне кальцинирования SO_2 реагирует с щелочами и щелочными сульфатами, имеющимися в сырьевых материалах. При контакте с частично декарбони-

зированной сырьевой смесью избыток SO_2 реагирует первоначально с образованием $CaSO_3$, а затем – $CaSO_4$. Эти сульфаты снова поступают во вращающуюся печь. Создается кругооборот серы в печи, которая находится в равновесии с выходом серы с клинкером (Рис.1.31).

Большая площадь зоны декарбонизации во вращающейся печи предоставляет идеальные условия для захвата серы из отходящих печных газов. Выделения SO_2 могут иметь место, когда концентрация кислорода во вращающейся печи не оптимальна для связывания SO_2. Кроме того, различные факторы могут влиять на эффективность реакции: температура, содержание влаги, время пребывания газа, концентрация оксидов в газовой фазе, доступность поверхности твердых частиц и т.д. [60, 76, 86, 97].

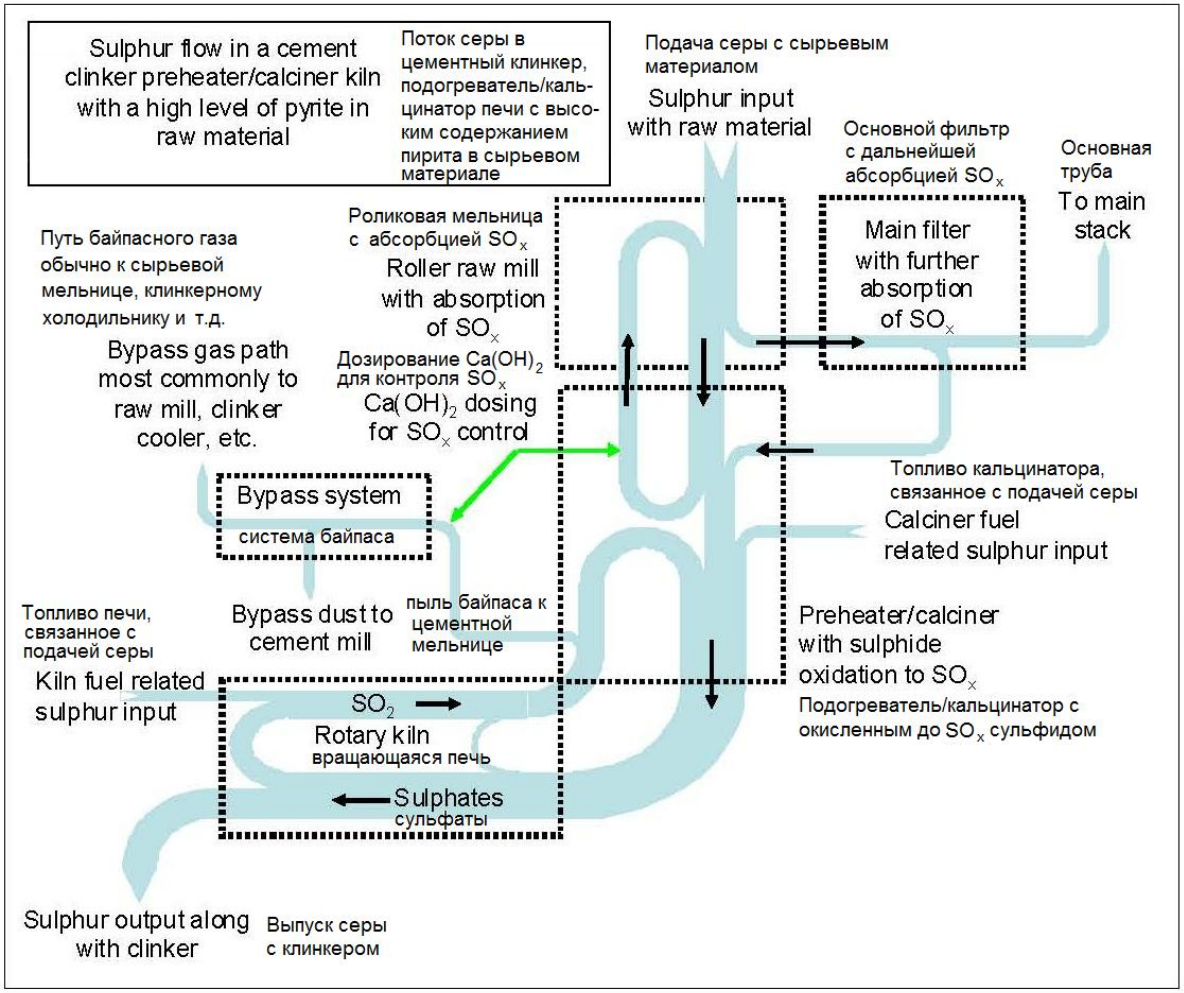

Рис.1.31. Диаграмма кругооборота серы в печи [97]

Увеличение выбросов SO_2 можно ожидать при наличии в сырьевых материалах органической серы или серы в легко окисляемой форме, например в виде пирита или марказита (лучистого колчедана). В этих условиях концентрация выделяемого SO_2 может быть высокой – 1,2 г/нм^3, а в отдельных случаях и выше, если не используются какие-либо специальные меры по его снижению.

Печи, в которых обжигаются сырьевые материалы с малым количеством летучей серы, обычно не имеют проблем с выбросами SO_2 и его концентрация в отходящих газах обычно ниже 10 мг/нм^3. Концентрация выбросов SO_2 увеличивается с увеличением количества летучей серы в используемых материалах.

При использовании различных методов контроля за выбросами диоксида серы, например, применение гидроксида кальция, выделения SO_2 значительно снижаются. Рис.1.32. показывает величину выбросов SO_2, измеренную в отходящих газах цементных заводов 25 стран ЕС [97].

SO_2 является основным (99 %) оксидом серы, который выделяется, хотя может присутствовать и некоторое количество SO_3, а в условиях восстановительной среды может образоваться и H_2S. Сера в виде сульфидов и органической связанной серы в сырьевых материалах будет испаряться, причем 30 % или более серы могут выделяться из первой ступени циклонного теплообменника.

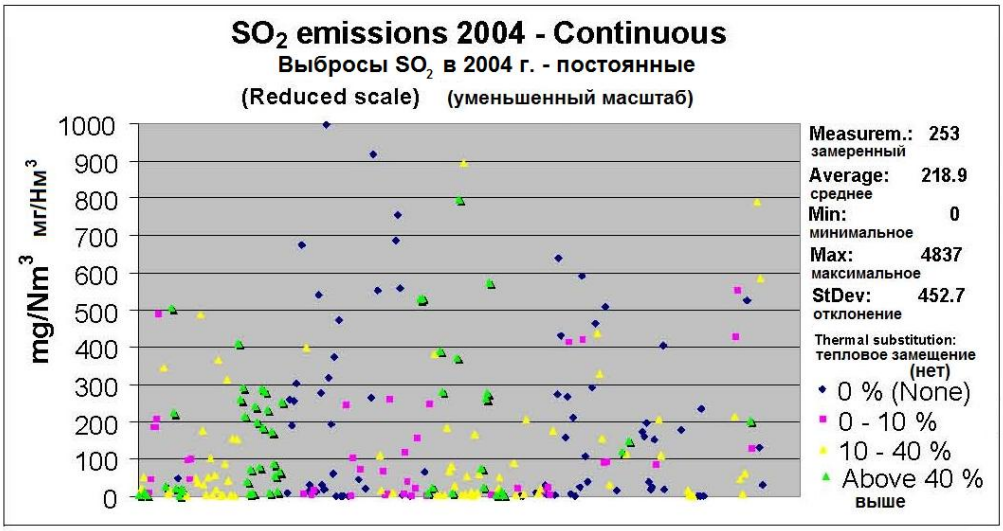

Рис. 1.32. Выбросы SO_2 в печных газах цементных заводов стран ЕС [97]

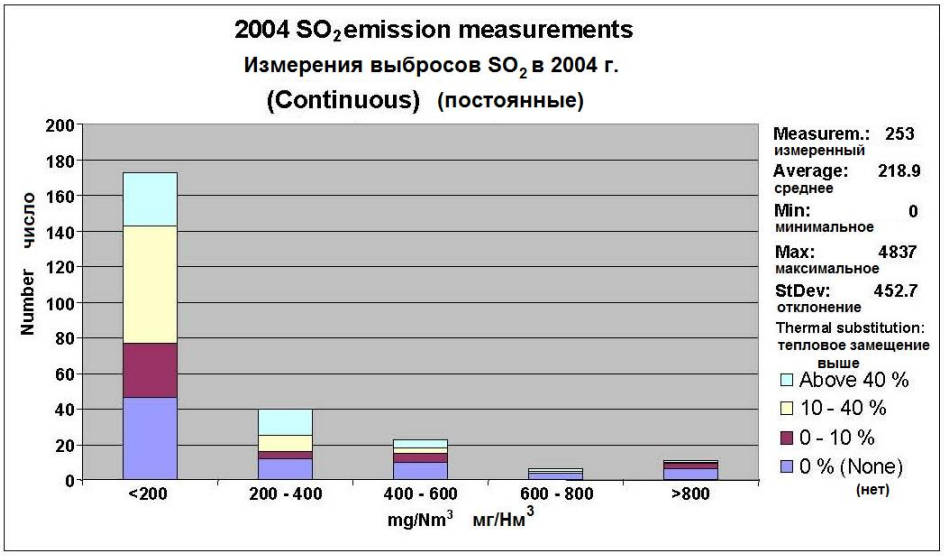

Рис. 1.33 Распределение измерений, классифицированных по степени термического связывания SO_2 [97]

В отличие от зоны декарбонизации, в циклонном теплообменнике 40 – 85 % образующегося SO_2 вновь связывается в нелетучие соединения. Основными факторами, влияющими на степень связывания SO_2 карбонатом кальция, являются содержание паров воды и концентрация пыли в циклонном теплообменнике, а также содержание кислорода в отхо-

дящих газах. Избыток кислорода (1 – 3 % O_2), обычно используемого на цементных заводах для обеспечения качества цементной продукции, будет достаточным для окисления сульфидов до SO_2. В длинных печах контакт между SO_2 и щелочными материалами не так хорош, поэтому сера из топлива и особенно топливных отходов может привести к значительному увеличению выбросов SO_2.

В башне кондиционирования отходящих газов связывается относительно небольшое – около 10 % – количество SO_2. Наоборот, в помольно-сушильной установке материал постоянно дробиться, обнажая все новые частицы с высокой активной поверхностью, которая способна захватывать SO_2. В процессе сушки атмосферный газ всегда обогащается парами воды, что приводит к улучшению адсорбции оксида серы. Опыт работы заводов с объединением процессов сушки и помола показал, что в мельнице можно связать от 20 до 70 % SO_2. Факторы, влияющие на захват SO_2, включают влажность сырьевых материалов, температуру мельницы, время пребывания материала в мельнице, тонкость помола материала. Важно, чтобы работа сырьевых мельниц была оптимизирована таким образом, чтобы сырьевая смесь была способна снижать количество SO_2 перед подачей её в печь 60, 76, 86, 97].

Несмотря на то, что большая часть серы остается в клинкере в виде сульфатов, выбросы SO_2 могут быть значительными в случае применения сырьевых материалов с высоким содержанием летучих соединений серы и поэтому оксид серы может рассматриваться как один из основных загрязнителей окружающей среды.

Отклонения от нормальных условий эксплуатации

При отклонении от нормальных условий работы печи выбросы SO_2 возрастают; к таким условиям относится обжиг в восстановительной среде, что снижает степень связывания серы. Причинами этого могут быть:

- неполное сгорание топлива в декарбонизаторе или неполное сгорание грубых частиц топливных отходов в холодном конце печи;
- излишне горячая зона обжига, что может привести к появлению в печи трудно сжигаемой топливной смеси;
- излишек серы из-за щелочей в питании печи;
- экстремальные величины кругооборота серы, циркулирующей между печью и циклонным теплообменником.

В 2004 году были собраны данные по выбросам SO_2 различных цементных заводов, находящихся в станах ЕС. Постоянно измеряемые в течение 24 ч величины выбросов представлены как среднегодовые результаты замеров. Приведенные измерения относятся к 1 $м^3$ сухого газа в стандартных условиях. Величины выбросов SO_2 были проанализированы для 253 вращающихся печей. 11 измерений выходило за шкалу нормативов, 7 из них имели нулевые показатели, 3 колебались между 0 и 10 и одно измерение превышало 40, как показано на рис.1.32 [97]. Уровень выбросов 1400 – 1700 мг/$нм^3$ с наибольшей величиной в 3000 мг/$нм^3$ был зафиксирован на цементном заводе в Швеции [86].

Как показано на рис. 1.32, большое количество SO_2 связывается в клинкер и адсорбируется цементной печной пылью. Использование топливных отходов не влияет на общее количество выбросов SO_2. В длинных вращающихся печах контакт между SO_2 и щелочами материалов менее эффективен и может привести к увеличению выбросов SO_2.

Распределение выбросов SO_2 по категориям показано на Рис.1.33.

В случае производства белого цемента, различные условия и их комбинация могут привести к снижению способности связывания серы в клинкере и, соответственно, к повышенному ее содержанию в выбросах. Эти условия следующие:

- трудно обжигаемая сырьевая смесь;
- низкое содержание щелочей в смеси, подаваемой в печь, обусловленной чистыми сырьевыми материалами;
- условия обжига белого клинкера в основном в восстановительной атмосфере;
- конфигурация печи: в печах Леполь, так же, как и в современных запечных теплообменниках, число циклонов может быть ограничено химическим составом сырьевого материала (щелочно-сульфатный баланс) [120].

1.3.4.4 Выбросы оксидов углерода

1.3.4.4.1 Диоксид углерода

Подсчитано, что выбросы CO_2 составляют 900 – 1000 кг/тонну серого клинкера при потреблении тепла 3500 – 5000 МДж/т клинкера, однако эта величина зависит от типа применяемого топлива. Благодаря измельчению цемента с минеральными добавками, количество выделяемого CO_2 снижается в пересчете на тонну цемента (сравните с Рис.1.19). Около 62 % от общего количества CO_2 выделяется в процессе декарбонизации известняка сырьевой смеси, а оставшееся 38 % – при горении топлива. Выделение CO_2 при сгорании топлива прямо пропорционально удельному расходу тепла на обжиг клинкера и отношению содержания в нем углерода к его теплотворной способности. За последние 25 лет выделение CO_2 при сгорании топлива снизилось примерно на 30 % в связи с постоянным увеличением эффективности процессов его сжигания в печи.

Информация о выбросах CO_2 и торговле квотами на выброс может быть получена в Директиве 2003/87/ЕС Европейского Парламента и Совета Европы от 13 октября 2003 года, устанавливающей схему квот на выбросы тепличных газов внутри Европейского Сообщества, уточняющей Директиву Совета Европы 96/61/ЕС, также как и в решении Европейской комиссии от 29 января 2004 г. (2004/156/ЕС), установившей руководство по мониторингу и отчету за выбросами парниковых газов и дополняющей Директиву 2003/87/ЕС Европейского Парламента и Совета Европы [99]. Кроме того, информация по мониторингу и отчету за выбросами парниковых газов с учетом Директивы по торговле квотами на выброс может быть найдена в Решении Европейской Комиссии от 29 января 2004 г. (2004/156/122) [122].

1.3.4.4.2 Оксид углерода

Выделение CO и углерода, связанного в органические соединения, в процессе обжига клинкера в печи вызвано наличием небольшого количества органических соединений в природных сырьевых материалах (остатки организмов и растений, включенных в горные породы в ходе геологических отложений). В период нахождения материала в теплообменнике они окисляются с образованием CO и CO_2. В этом процессе из органического углерода также могут образоваться небольшие количества (следы) органических газов. Следовательно, содержание CO и следов органических газов в отходящих газах не позволяет сделать каких-либо заключений по условиям горения топлива в самой вращающейся печи.

Дополнительные выбросы CO могут быть результатом неполного сжигания топлива или неправильно подобранных условий горения в декарбонизаторах. Однако такое увеличение выбросов CO обычно совпадает со снижением выбросов оксидов азота NO_x. В то же время такие восстановительные условия горения могут способствовать образованию и увеличению SO_2.
На теплоэлектростанциях концентрация CO в отходящих дымовых газах и органически связанных углерод является критерием недожога топлива. В отличие от этого процесс обжига клинкера является процессом превращения материала, который может происходить с избытком воздуха с целью улучшения качества клинкера. Совместно с длительным пребыванием при высокой температуре это приводит к полному сжиганию топлива [76].

В зависимости от месторождения сырьевого материала от 1,5 до 6 г органического углерода на кг клинкера привносится в процесс с природным материалом. Исследования различных сырьевых смесей показали, что 85 – 95 % органических соединений в сырьевом материале преобразуются в CO_2 в присутствии 3 % кислорода, но в то же время 5 – 15% превращается в CO. Количество органических углеродных соединений в этих условиях значительно ниже 1 %. Концентрация CO может быть выше 1000 мг/нм^3, превышая 2000 мг/нм^3 или даже, в некоторых случаях, выше 5000 мг/нм^3, как показано на Рис.1.34. Большинство измерений по концентрации CO, выполненных на 29 вращающихся печах Германии, показали среднегодовые величины между 200 и 2200 мг/нм^3 (минимальный уровень детектирования CO составляет 1,8 – 2,5 мг/нм^3) [9, 76, 168]. Хороший дизайн системы топливоподачи обеспечивает устойчивый уровень питания твердым топливом с минимальным пиком выбросов. В противном случае при нестехиометрии горения, могут появиться короткие пики выбросов CO более 0,5 % . Это создает дополнительные проблемы с электрофильтрами, которые вынуждены автоматически отключаться во избежание взрыва.

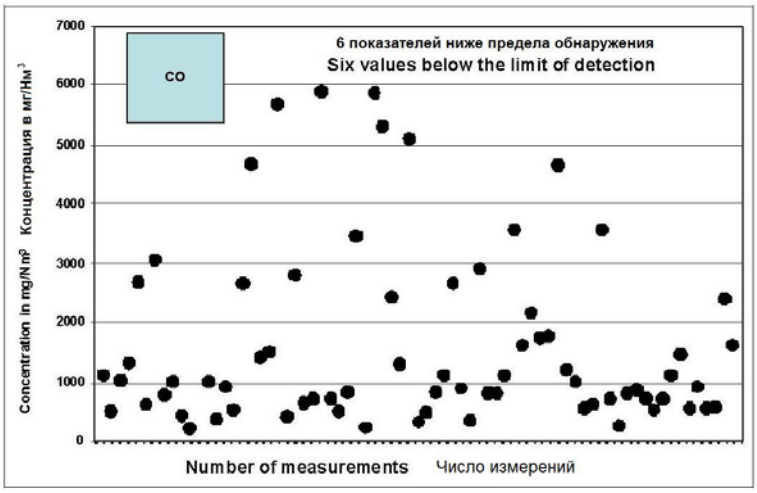

Рис. 1.34. Концентрация CO для 29 вращающихся печей Германии в 2004 году

1.3.4.5 Общие органические соединения

В тепловом процессе появление летучих органических соединений (и оксида углерода) в основном связано с неполным сгоранием топлива. В цементных печах при нормальных и стабильных условиях работы выбросы этих веществ будут меньше благодаря применяемому типу печи, времени пребывания газов в печи, высокой температуре, природы пламени (2000 ^oC) и избытку кислорода. В этих условиях органические соединения разлагаются с высокой эффективностью (> 99,9999 %) [86, 97]. Эти выбросы могут увеличиваться при внезапных остановках или при ненормальных условиях эксплуатации оборудования. Эти события могут появляться с частотой 1 – 2 раза в неделю или один раз в два – три месяца.

Выбросы летучих органических соединений могут появиться на первых стадиях процесса обжига (теплообменник, декарбонизатор), когда органическое вещество, присутствующее в сырьевой смеси, улетучивается при нагревании материала. Органическое вещество высвобождается при температурах 400 – 600 °С. Содержание летучих органических соединений в отходящих газах вращающихся печей типично находится в пределах 1 – 80 мг/нм^3 в пересчете на общие органические соединения, как показано на Рис. 1.35. Однако в редких случаях выбросы моут достигнуть 120 мг/нм^3 в зависимости от характеристик сырьевого материала. В 2004 году выбросы органических соединений были замерены на 120 вращающихся печах, а затем они были распределены по категориям в зависимости от величины выбросов, как показано на Рис.1.35 и Рис.1.36. Постоянно измеряемые величины представлены как среднегодовые показатели усредненных 24 часовых измерений. Указанные показатели относятся к 1нм^3 сухого газа в стандартных условиях [9, 97]. Продолжающееся измерения на 27 вращающихся печах Германии показывают концентрации выбросов углерода до 75 мг/нм^3, как показано на Рис. 1.37. Основная величина концентрации выбросов находится ниже 30 мг/нм^3 (среднегодовая величина) (минимальный порог обнаружения 1,5 – 2,1 мг/нм^3).

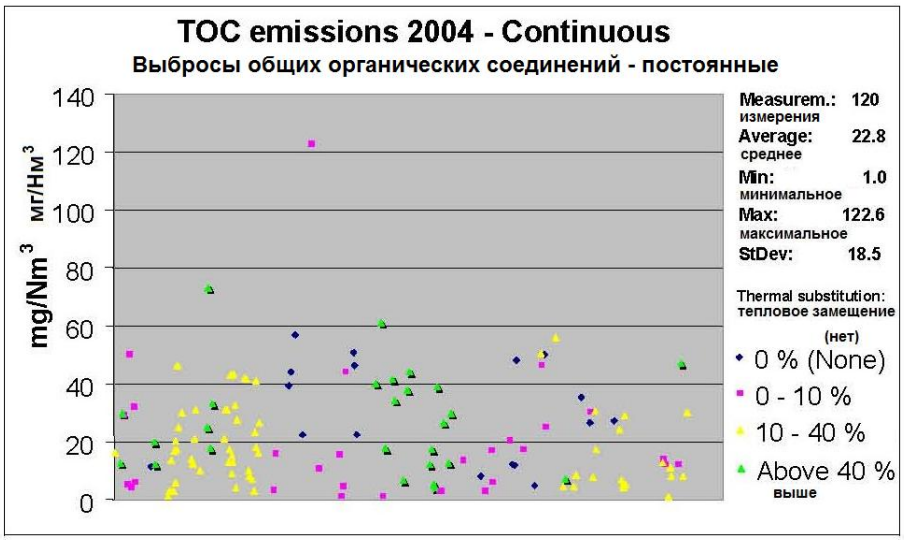

Рис. 1.35. Выбросы общих органических соединений из цементных печей в странах ЕС

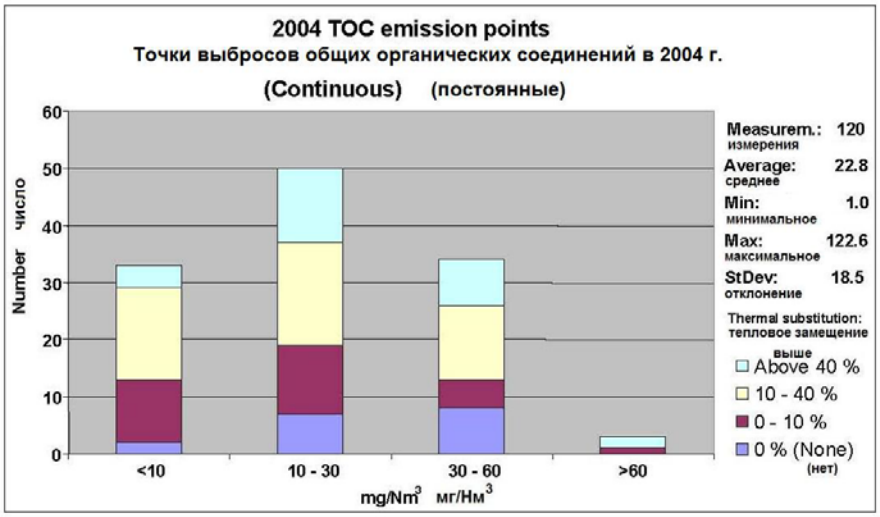

Рис. 1.36 Распределение постоянных измерений общего содержания органических веществ по категории количества

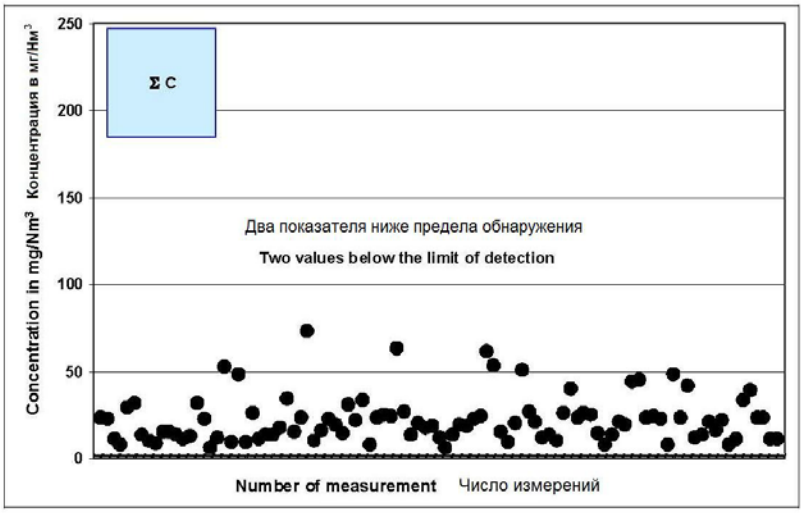

Рис. 1.37. Концентрация общих органических соединений в печных газах цементных печей Германии в 2004 году

1.3.4.6 Полихлорированные пара-дибензодиоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ)

Дибензодиоксины и дибензофураны могут в результате сложных процессов, зависящих от конструкции печи, условий горения, условий питания печи и типа эксплуатируемого обеспыливающего оборудования. Кроме того, присутствие хлора совместно с органическими соединениями может потенциально вызвать образование ПХДД и ПХДФ в любом высокотемпературном процессе. Указанные соединения могут образоваться в циклонном теплообменнике или после теплообменника, в установках обеспыливания, если в сырьевых материалах присутствуют в достаточном количестве хлор и углеводороды (см. раздел 1.2.4). Однако образование дибензодиоксинов и дибензофуранов и их последующие выбросы происходит, если одновременно соблюдаются пять условий:

- наличие углеводородов;
- наличие хлоридов;
- наличие катализатора:
  – считается, что Cu^{2+}(и Fe^{2+}) оказывают каталитический эффект;
- Наличие соответствующего температурного интервала:
  – между 200 и 450 °C с максимумом при 300 – 325 °C;
- длительное время пребывания материалов в соответствующем интервале температур.

Кроме того, молекулярный кислород должен присутствовать в газовом потоке. Скорость образования ПХДД и ПХДФ увеличивается с повышением концентрации кислорода с порядком реакции примерно 0,5.

Как отмечалось выше, преобразование хлордибензооксинов и дибенофуранов может осуществиться в температурном интервале 450 – 200 °C. Таким образом, важно, чтобы газы, выходящие из печной системы, быстро охлаждались ниже этих температур. На практике это достигается тем, что дымовые газы в теплообменнике контактируют с сырьевыми материалами. Образование ПХДД и ПХДФ в теплообменнике не происходит при превышении температуры, при которой эти соединения разлагаются. Быстрое разложение ПХДД и ПХДФ происходит при температурах выше 925 °C. Более того, деструкция поддерживается динамикой процесса перемещения материала в более горячие зоны теплообменника, в то время как газ перемещается в более холодные зоны. Адсорбированные на материале, поступающем в печь, ПХДД и ПХДФ транспортируются к зонам с повышенной температурой (400 – 600 °C), где они термически разлагаются или деградиру-

ют до более легких гомологов. Они переходят в газовую фазу и в более холодных зонах (200 – 300 °C) ресублимируются на материале, входящем в печь. Следовательно, благодаря длительному времени пребывания в печи и высокой температуре, при постоянных режимах работы печи выбросы указанных соединений в основном невелики. Детальные исследования и измерения показали, что уровень выбросов ПХДД и ПХДФ в цементной промышленности может быть классифицировано в настоящее время как низкое, даже когда отходы и опасные отходы используются в качестве вспомогательного топлива. Данные были собраны с печей мокрого и с печей сухого способа производства, работавших в различных эксплуатационных условиях и с использованием широкого класса отходов и опасных отходов, подаваемых как через горелку, так и через вход печи (теплообменник или декарбонизатор). Эти исследования позволили сделать заключение, что в Европе цементное производство является редчайшим (очень незначительным) источником выбросов ПХДД и ПХДФ, потому что:

- большинство цементных печей имеют выбросы на уровне 0.1 нг I-TEQ/нм^3 при применении первичных мер предосторожности (см. раздел 1.4.6),
- использование отходов в качестве топлива и сырьевых материалов при подаче в главную горелку, печной питатель или в декарбонизатор не влияет на выбросы ПХДД и ПХДФ [88].

В 2004 году данные по выбросам ПХДД и ПХДФ были собраны для различных цементных заводов в странах ЕС. Выбросы ПХДД и ПХДФ в печных газах показаны на Рис. 1.38 и Рис. 1.39. Измерения относятся к 1 м^3 сухого газа в стандартных условиях [97]. Как показано на Рис. 1.38, данные указывают, что цементные печи в Европе в основном соответствуют требованиям Европейского законодательства по сжиганию опасных отходов (Директива ЕС 2000/76/ЕС) с уровнем выбросов 0.1 нг I-TEQ/нм^3. Измерение выбросов ПХДД и ПХДФ из 39 вращающихся печей в Германии (печи с запечными циклонными теплообменниками и печи Леполь) показали, что концентрация выбросов находится в основном ниже 0.2 нг I-TEQ/нм^3, как показано на Рис.1.40. В 26 случаях выбросы вообще не были зафиксированы. В Испании измерение выбросов ПХДД и ПХДФ были выполнены за период от 2000 до 2003 года, включая 89 измерений из 41 печи, которые представляют 69,5 % всей информации. Эти исследования были выполнены при использовании различного топлива для процесса обжига в печи. Для печей, использующих топливные отходы, выбросы находились в интервале 0,83 – 1,33 нг I-TEQ/т клинкера и являются вполне сравнимыми с результатами, полученными для обычного топлива, при использовании которого выбросы находились в пределах 0,67 – 246 нг I-TEQ/т клинкера [60, 76, 86, 88, 91, 150] .

Выбросы ПХДД и ПХДФ**,** измеренные на 39 вращающихся печах Германии, показаны на Рис. 1.40. Эти данные является результатами трех индивидуальных измерений, выполненных раз в год. В 26 случаях выбросы не зафиксированы. Минимальный обнаруживаемый уровень ПХДД и ПХДФ составляет 0,0024 нг I-TEQ/нм^3. Для оценки результатов измерений и для сравнение результатов, полученных в различных лабораториях, было введено понятие об I-TEQ, являющегося аббревиатурой для международного эквивалента токсичности [76].

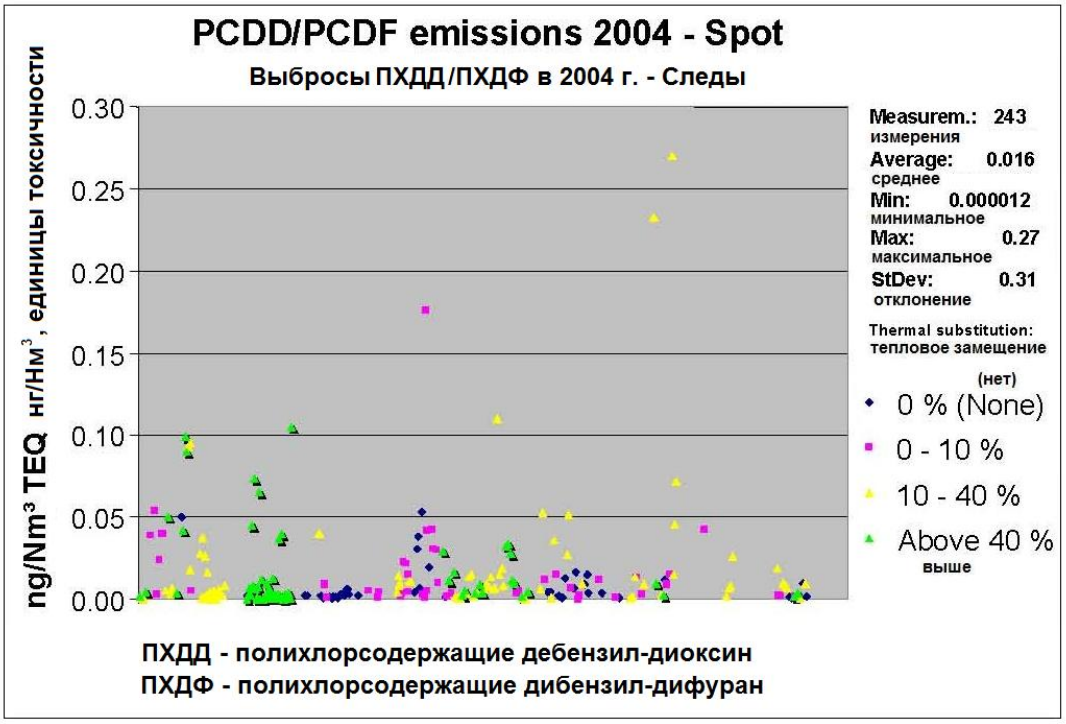

Рис. 1.38. Выбросы ПХДД и ПХДФ из цементных печей в 27 странах ЕС в 2004 году [97]

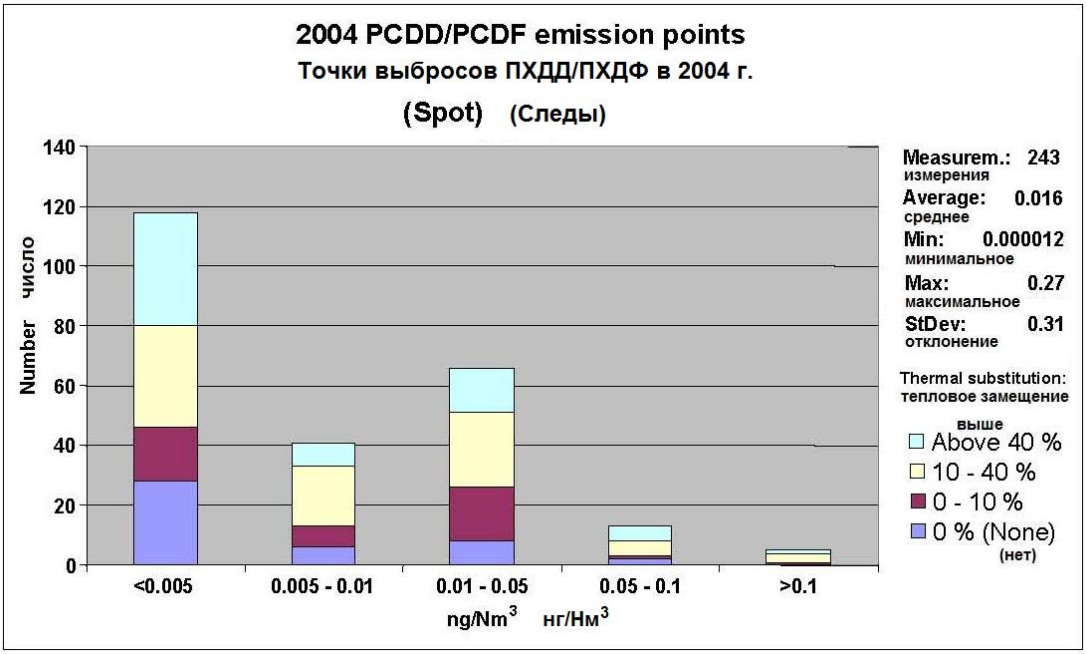

Рис. 1.39 Распределение точечных измерений, классифицированных по уровню выбросов

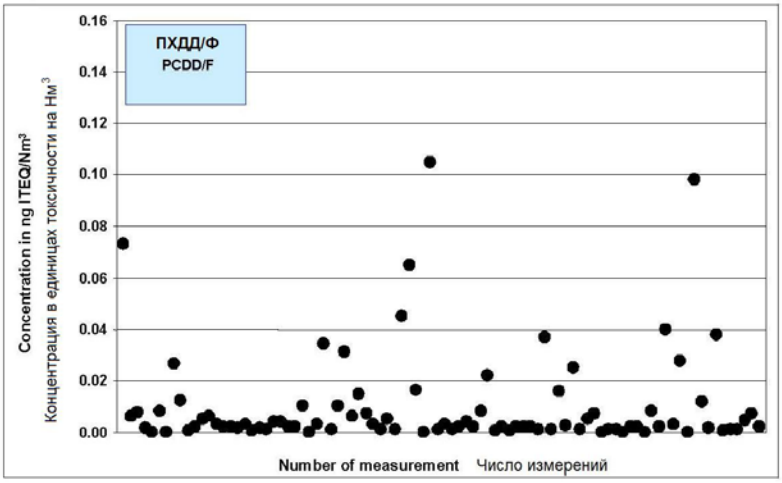

Рис. 1.40. Выбросы ПХДД и ПХДФ из 39 цементных печей в Германии в 2004 г. [76]

1.3.4.7 Металлы и их соединения

Сырьевые материалы и топливо всегда содержат металлы. Их концентрация изменяется в широких пределах, а на их выбросы в атмосферу влияет очень сложный механизм. Кроме того, концентрация металлов в топливных отходах изменяется с изменением источника отходов. Все металлы могут быть разделены на 4 класса в зависимости от летучести металлов и их солей:

1. Металлы, которые индивидуально или в смеси представляют собой тугоплавкие, нелетучие вещества, такие как Ba, Be, Cr, As, Ni, Al, Ni, Ca, Fe, Mn, Cu и Ag:
   - эти металлы полностью адсорбируются клинкером и выводятся вместе с ним, поэтому не циркулируют в печной системе; в отходящих газах имеются только выбросы пыли; величина выбросов пыли зависит только от эффективности пылеотделения; выбросы этих металлов крайне малы;
2. Металлы или их соединения, являющиеся полулетучими: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K и Na:
   - эти металлы конденсируются в виде сульфатов и хлоридов в температурном интервале 700 – 900 ^{o}C и циркулируют в печи; полулетучие элементы аккумулируются в теплообменнике и осаждаются в циклонах, и в большом количестве, почти полностью остаются в клинкере;
3. Таллий или его смесь с летучими соединениями:
   - соединения таллия (например, хлорид таллия) конденсируются в интервале 450 – 550 ^{o}C, в случае использования печей с циклонными теплообменниками – в верхней зоне теплообменника, где они могут постепенно накапливаться (внутренняя циркуляция);
4. Ртуть: металл или его соединения крайне летучи (см.раздел 1.3.4.7.1):
   - ртуть и соединения ртути свободно выходят из печи и теплообменника и только частично адсорбируются сырьевой смесью в зависимости от температуры дымовых газов [12, 76, 91, 92].

Пути перемещения металлов в цементной печи сухого способа с теплообменником показано на Рис.1.41.

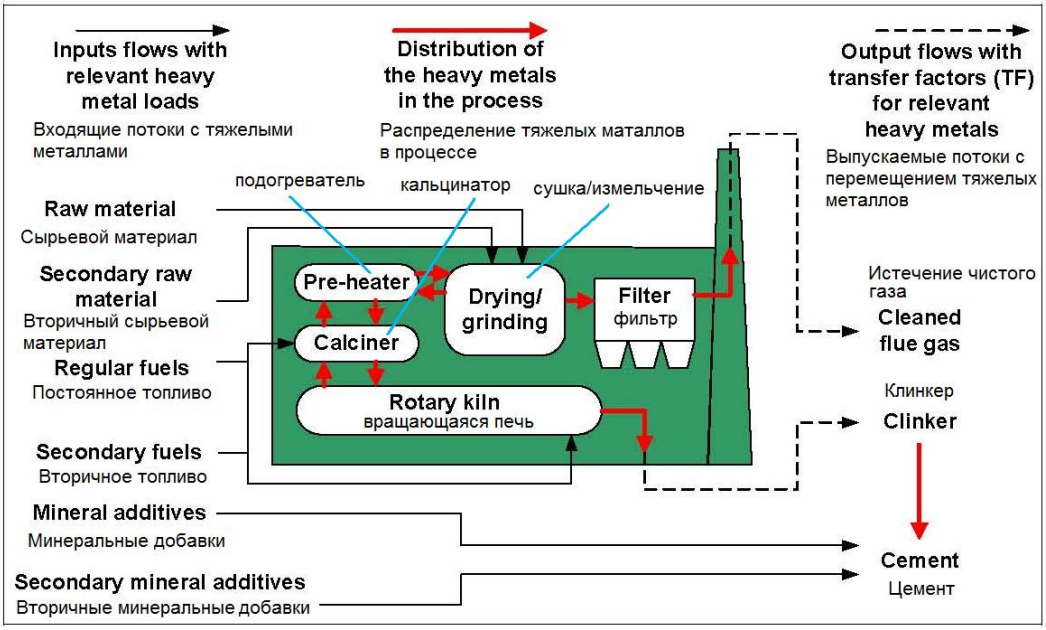

Рис.1.41. Перемещение металлов в цементной печи сухого способа с теплообменником [89]

Поведение и уровень выбросов отдельных металлов в процессе обжига клинкера зависит от их летучести, схемы ввода в печь, концентрации металла в сырьевых материалах и топливе, особенно при использовании опасных топливных отходов, типа процесса и, в основном, от эффективности осаждения пыли в пылеосадительной системе.

Металлы, внедренные в процесс обжига через сырьевые материалы и топливо, могут испаряться полностью или частично в теплообменнике и/или в печи в зависимости от их летучести, взаимодействия с соединениями, присутствующими в газовой фазе, и конденсироваться на клинкере, подаваемом в холодильник. Металлы из топлива первоначально поступают в дымовые газы, но выбрасываются вместе с ними из печи в очень малом количестве благодаря удерживающей способности печи и теплообменника. Поскольку отношение сырьевых материалов к топливу в клинкере составляет примерно 10 : 1, вид и природа сырьевых материалов являются решающим фактором для выбросов металлов [76, 86, 92].

Нелетучие металлы и их соединения остаются в процессе и выходят из печи в составе клинкера (более 99,9 % от всего их количества). Соединения полулетучих металлов частично переходят в газовую фазу при температуре обжига, а затем конденсируются на сырьевом материале в холодной части печи. Это приводит к циркуляции металла в печной системе (внутренние циклы), циркуляция металла может происходить только в печи и теплообменника или также охватывать установки сухого помола сырья. Если металлы в значительной степени конденсируются в теплообменнике, они буду возвращаться в печь вместе с материалом. Это приводит к внутренней циркуляции металла (цикл печь/теплообменник). Этот цикл приводит к повышению концентрации металла в местах, где устанавливается равновесие и поддерживается равновесием между входом с сырьем и выходом с портландцементным клинкером [9, 60, 76].

Летучие металлы и их соединения конденсируются на частицах сырьевых материалов при низкой температуре и потенциально образуют внутренний или наружный циклы кругооборота, если не выбрасываются с выходящим из печи дымовыми газами. Таллий, ртуть и их соединения легко переходят в газовую фазу. Они не связываются в достаточной мере в состав портландцементного клинкера. Таллий и его соединения конденсируются в верхней зоне теплообменника в температурном интервале 450 – 500 ^{o}C. Таким об-

разом, большая часть таллия, привнесенная в печную систему, остается в теплообменнике. Как следствие этого формируется внутренний или внешний цикл кругооборота металла между теплообменником, зоной сушки сырьевых материалов и системой очистки отходящих газов. Уровень выбросов таллия зависит от его концентрации во внешнем цикле и эффективности работы системы пылеосаждения. Например, концентрация таллия в пыли электрофильтров напрямую зависит от уровня его концентрации в цикле [60].

Менее распространенные кадмий, свинец, селен и их соединения также легко переходят в газовую фазу. Образуется внутренний цикл кругооборота высоколетучих металлов, в котором они реагируют с разложившимся при обжиге материалом или осаждаются на материале, поступающем в холодную часть зоны кальцинации, в теплообменнике или в сушильном отделении.

Металлы из внешнего цикла возвращаются в сырьевую смесь совместно с осажденной в системе пылеулавливания пылью, на которой они конденсируются [27].

Пыль от производства цемента содержит небольшое количество металлов и их соединений, таких, как мышьяк As, кадмий Cd, ртуть Hg, свинец Pb, таллий Tl, цинк Zn. Главными источниками богатой металлами пыли является печная система с теплообменником и декарбонизатором, вращающаяся печь и клинкерный холодильник. Использование угля и топливных отходов могут увеличивать поступление металлов в технологический процесс. Поскольку металлы, поступающие в печную систему, различаются по летучести, при высокой температуре нагретых газов в цементной печи металлические соединения находятся в также в газовой фазе. Исследования баланса показывают, что имеется низкое удерживание элементов с высокой летучестью в клинкере, они аккумулируются в основном в печной системе.

Выбросы кадмия и таллия были в отходящих газах 262 печей представлены на Рис. 1.42. и Рис. 1.43. В 2004 году эти измерения проводились на различных заводах, расположенных в странах ЕС (см. Словарь). Распределение выбросов по суммарной концентрации Cd + Tl представлено на Рис.1.43 различными цветами. Пять измерений находились за пределами шкалы, четыре находились на нулевом уровне и одно измерение – в интервале 0 – 10. Выбросы изменяются независимо от вида применяемого топлива. Такое положение сложилось благодаря тому, что кадмий и таллий мало летучи, чтобы выделиться вместе с отходящими газами, они в основном концентрируются в пыли и клинкере. Поэтому выбросы зависят в большей степени от эффективности работы обеспыливающих устройств, чем от топлива [27].

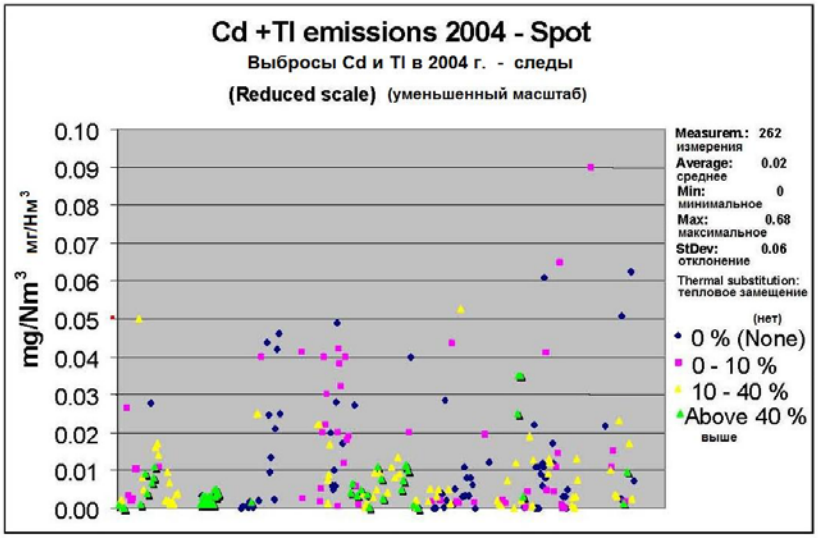

Рис. 1.42. Выбросы кадмия и таллия, замеренные в 262 точках 27 стран ЕС и стран, охватываемых ЦЕМБЮРО [91]

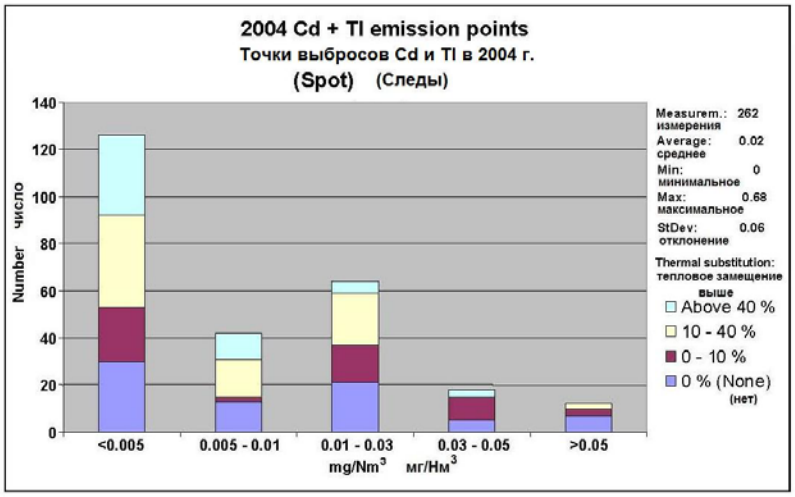

Рис. 1.43. Распределение измерений, разделенных по уровню ∑ (Cd, Tl) [91]

На Рис. 1.44 и Рис. 1.45 представлены выбросы ∑(Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) из 287 точек измерений в обеспыленных дымовых газах вращающихся печей. В 2004 году эти измерения были сделаны для различных заводов, расположенных в 27 странах ЕС и стран, охватываемых CEMBUREAU.

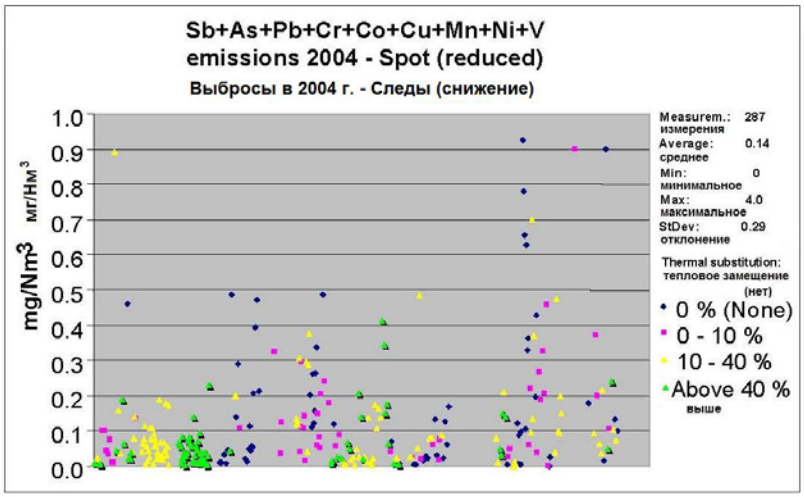

Рис. 1.44 Выбросы ∑(Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), замеренные в 287 точках 27 стран ЕС и стран, охватываемых ЦЕМБЮРО [91]

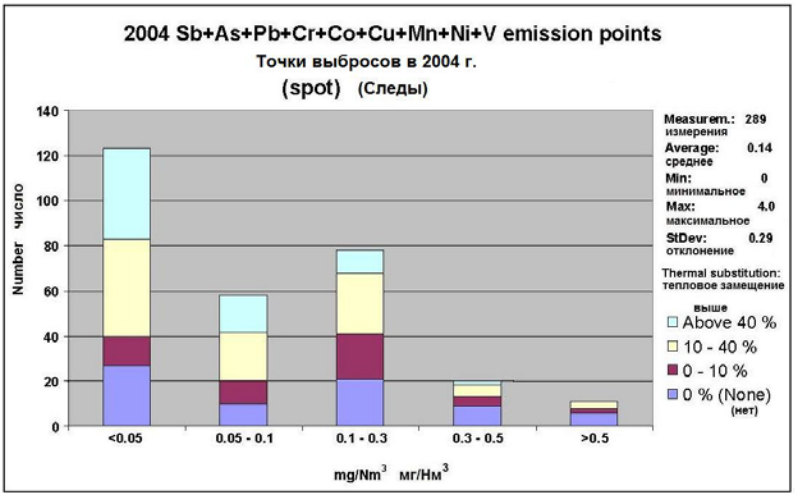

Рис. 1.45 Распределение измерений по уровню ∑ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) [91]

Уровни концентрации различных металлических соединений, замеренных в очищенных отходящих газах цементных печей с 1968 по 1998 годы показаны в Табл.1.29.

Таблица 1.29 Концентрация тяжелых металлов в отходящих газах цементных печей с 1968 по 1998 годы [60]

Компоненты	Концентрация [1)], мг/нм^3
Сурьма	< 0.007 – 0.05
Мышьяк	< 0.007 – 0.025
Бериллий	< 0.004
Свинец	< 0.012 – 0.2
Кадмий	< 0.002 – 0.008
Хром	< 0.014 – 0.03
Кобальт	< 0.012 – 0.15
Медь	< 0.011 – 0.095
Марганец	< 0.007 – 2
Никель	< 0.008 – 0.075
Ртуть	< 0.005 – 0.12
Селен	< 0.008 – 0.02
Теллур	< 0.0017 – 0.015
Таллий	< 0.005 – 0.03
Ванадий	< 0.007 – 0.075
Цинк	< 0.1 – 0.45
Олово	< 0.01 – 0.025
[1)] Средняя концентрация на основе единичных измерений за весь период испытаний	

1.3.4.7.1 Ртуть

Ртуть и ее соединения очень легко переходят в газообразное состояние (высокая летучесть металла). Это токсичный элемент и загрязнения ртутью является глобальными, поэтому выбросы ртути в атмосферу со стороны предприятий должно быть снижены. Для снижения выбросов ртути необходимо ограничивать её введение в печную систему с сырьевыми материалами и топливом (см. разделы 1.2.4.3.2, 1.2.4.3.2.1 и 1.3.4.13).

Ртуть и ее соединения не осаждаются в печной системе и/или теплообменнике и поэтому не входит в состав клинкера. Они попадают в отходящие газы, конденсируются при их охлаждении и частично адсорбируются частицами сырьевых материалов в зависимости от температуры газа. Эта доля удаляется из системы при очистке отходящего газа от пыли. Концентрация ртути может увеличиваться только при наружном цикле, где уровень концентрации и выбросов в основном определяются условиями отходящего газа. Чтобы предотвратить длительное циклическое увеличение выбросов ртути, необходимо ограничить концентрацию наружного цикла, например, постоянной экстракцией и безвозвратным удалением части пыли, собранной в обеспыливающей системе. Кроме того, осаждение и следовательно удаление ртути с отходящими газами увеличивается при снижении их температуры. Измерения на печной системе с циклонным теплообменником показали, что более 90 % ртути находится на частицах, которые образуются в отходящем газе при температуре ниже 130 °C. Соединения ртути полностью удаляются вместе с пылью из пылеуловителя печной системы. При высокой эффективности пылеуловителя концентрация ртути в обеспыленных дымовых газах вращающейся печи часто ниже предела определения (см. Рис. 1.46 и Рис. 1.47).

Пыль из пылеуловителя может возвращаться назад в цементную мельницу. В случае использования топливных отходов ввод ртути в печь необходимо регулярно ограничивать (см. раздел 1.2.4.3.2.1 и 4.2.2.1.1.). Другой возможностью снижения выбросов ртути явля-

ется снижение температуры газа после башни кондиционирования чтобы улучшить осаждение ртути и ее соединений в период пылеулавливания. Кроме того, на одном из цементных заводов Германии использовался активированный уголь в качестве адсорбента паров ртути из отходящих дымовых газов [12, 76, 86, 91, 92, 168].

На Рис. 1.46 и 1.47 показаны выбросы ртути, собранные из 306 точек различных заводов стран ЕС и стран, охватываемых CEMBUREAU, в 2004 году. Шесть измерений выходили за пределы шкалы измерений, одно измерение находилось на нулевом уровне, одно находилось в пределах 0 – 10, два – в пределах 10 – 20 и два измерения – выше 40. Ртуть является наиболее летучим тяжелым металлом и имеет низкий показатель улавливания. Топливные отходы подвергаются строгому приему и инспекции на наличие соединений ртути перед их использованием [97].

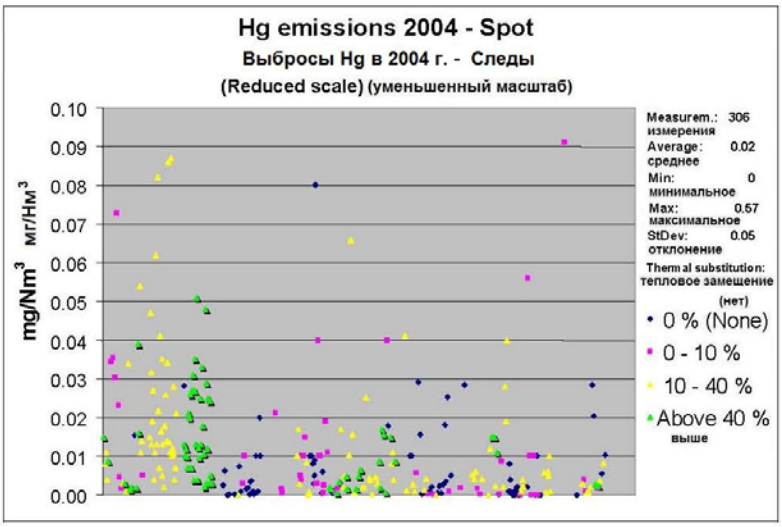

Рис. 1.46 Показатели выбросов ртути из 306 точек измерений в странах ЕС [91]

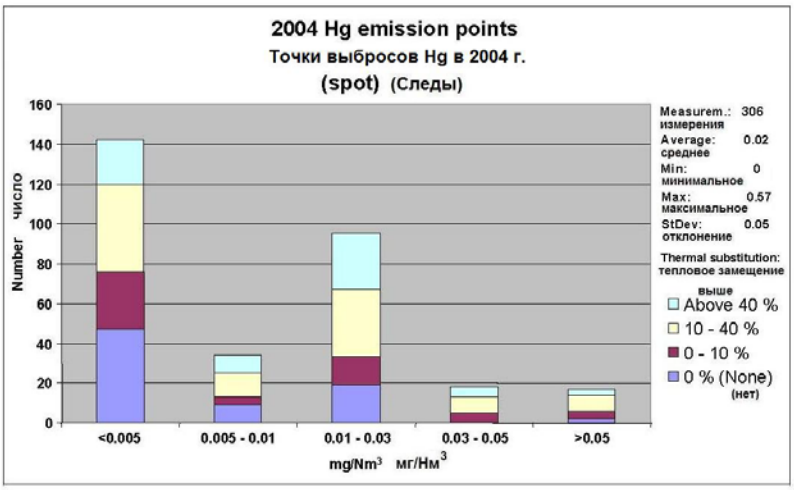

Рис.1.47. Распределение измерений по категориям [91]

1.3.4.8 Хлорид и фторид водорода (HCl и HF)

Хлориды и фториды являются малыми дополнительными компонентами при производстве цемента. Они могут попасть в печную систему различными путями – как через сырьевые материалы, так и через топливо. Для контроля содержания этих веществ необходимо осуществлять регулярный периодический мониторинг.

1.3.4.8.1 Газообразные неорганические соединения хлора

Соединения хлора являются малыми составляющими в производстве клинкера, содержащимися в сырьевых материалах и топливе. Они могут поступать в печь с различными подаваемыми материалами в процессе обжига. Они реагируют с щелочами с образованием хлоридов щелочей. Эти соединения, вначале испаряющиеся, конденсируются на сырьевой смеси или печной пыли в интервале температур 700 – 900 ^{o}C, а затем вновь попадают в печь и испаряются. Они образуют циклический кругооборот и могут накапливаться в пространстве между вращающейся печью и циклонным теплообменником. Байпас печных газов позволяет эффективно снижать кругооборот щелочных хлоридов и тем самым уменьшить трудности эксплуатации печи. При концентрации хлоридов 0.2 г Cl на кг клинкера, в зависимости от специфики завода, для предотвращения залипания материала в нижней секции циклонного теплообменника часть дымовых газов из печи направляют через байпас и охлаждают. При охлаждении потока газа щелочные соединения, находящиеся в газе, конденсируются на частицах пыли и могут быть затем удалены из печной системы с помощью пылеуловителя. Собранная в байпасной системе пыль возвращается при определенных контролируемых условиях в цементную мельницу.

Как показано на Рис .1.48, на цементных заводах Европы в процессе получения клинкера неорганические соединения хлора, находящиеся в газе, или не выбрасываются совсем, или выбрасываются в небольшом количестве. Неорганические хлориды, зафиксированные в отходящих газах вращающихся печей, представляют собой ультрамелкие частицы пыли щелочных хлоридов [60, 76, 86, 97].

В 2004 году, данные измерений выбросов HCl были собраны для цементных заводов стран ЕС. Показатели постоянно измеряемых величин HCl были собраны для 98 вращающихся печей, а также для 233 точек измерений, как показано на Рис. 1.48 и Рис. 1.50. На Рис. 1.49 и Рис.1.51 приведены распределения выбросов. Постоянно измеряемые выбросы представляют собой средние годовые показатели. Измеряемые величины относятся к 1 нм^3 сухого газа в стандартных условиях. Рис. 1.52 показывает выбросы на уровне 0 – 8 мг/нм^3 (среднегодовая величина), в то время как 91 показатель находится ниже предела определения и один – выше 15 мг/нм^3, замеренные для 39 вращающихся печей на цементных заводах Германии [76].

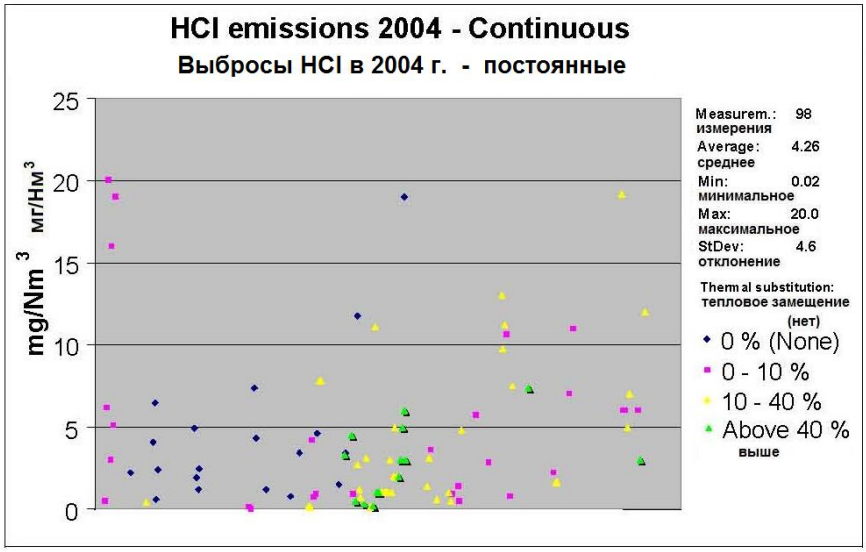

Рис. 1.48 Показатели выбросов HCl для 98 цементных печей в странах ЕС [97]

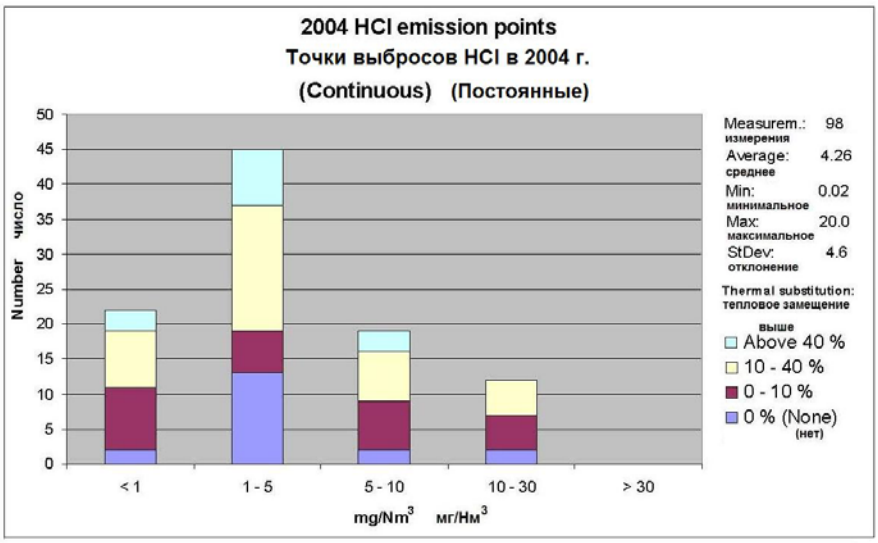

Рис. 1.49 Распределение постоянно измеряемых выбросов HCl [97]

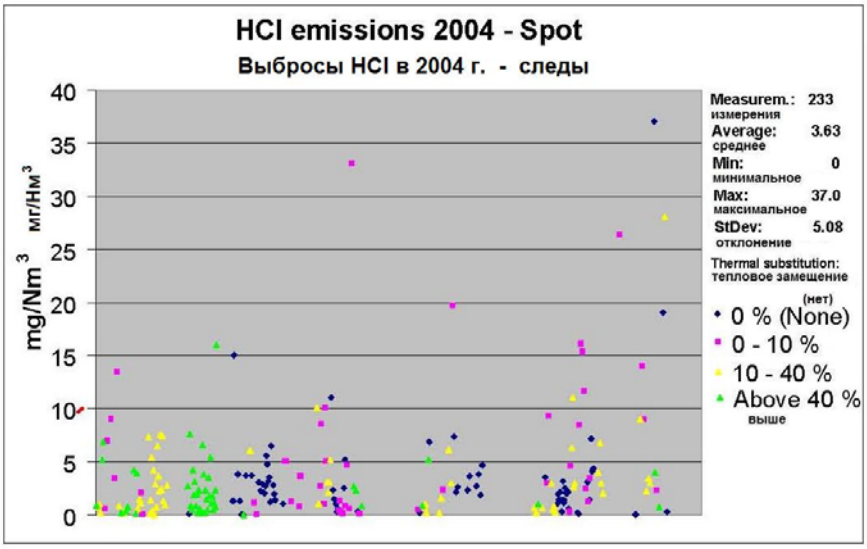

Рис. 1.50 Уровни выбросов из 233 точечных замеров для вращающихся печей в странах ЕС [97]

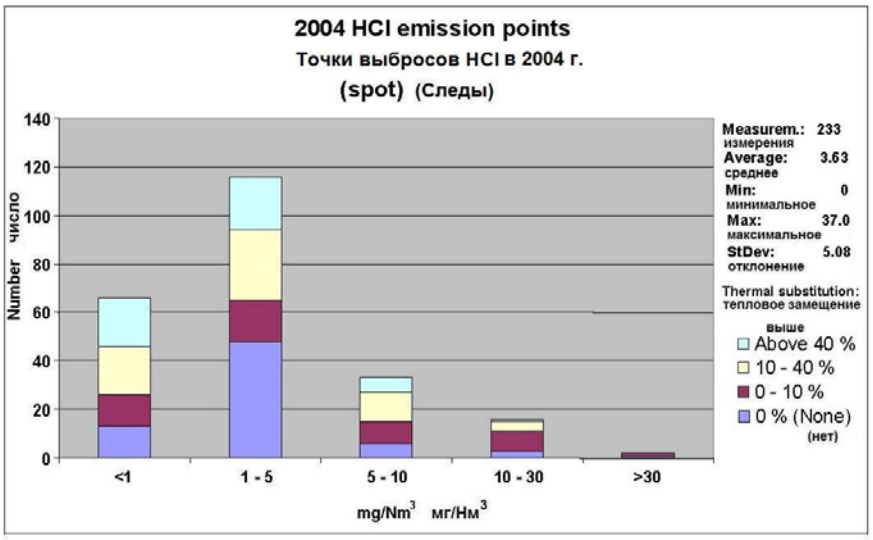

Рис. 1.51 Распределение точечных измерений HCl [97]

Выбросы HCl, замеренные на 38 вращающихся печах в Германии, показаны на Рис. 1.52. Эти результаты были получены на основании отдельных измерений, выполненных триж-

ды в год в определенный день. В 91 случае выбросы были ниже величины обнаружения в пределах 1,5 – 2,1 мг/нм^3.

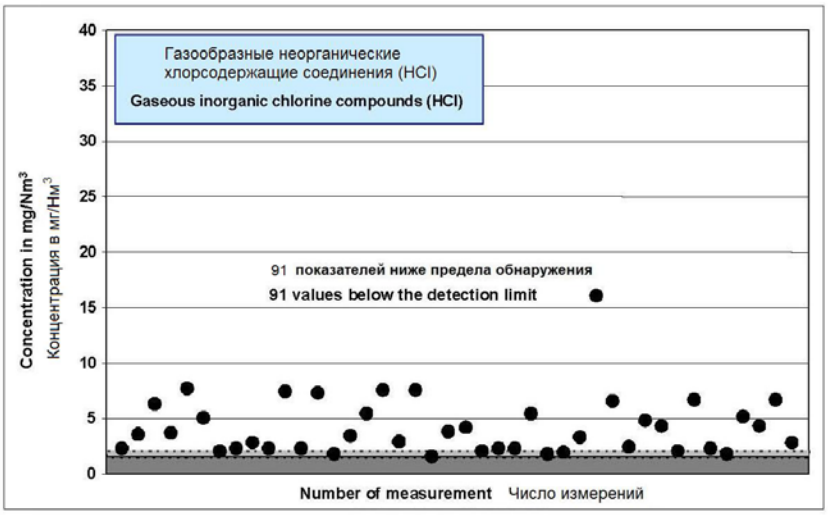

Рис. 1.52 Выбросы газовых неорганических соединений хлора в виде HCl, замеренных для 38 вращающихся печей в Германии в 2004 году [76]

1.3.4.8.2 Газообразные неорганические соединения фтора

Из всего количества фтора, присутствующего во вращающихся печах, 90 – 95 % находится в составе клинкера, а остальная часть находится в пыли в виде фторида кальция (CaF_2), который стабилен в условиях процесса обжига. Благодаря большому избытку кальция, выбросы газообразных соединений фтора и фторида водорода фактически исключаются. Ультратонкие фракции пыли, проходящие через фильтр при измерении, могут симулировать небольшое выделение газообразных соединений фтора из вращающейся печи. Малое количество фторидов выделяется с печной пылью в виде CaF_2.

В 2004 году данные постоянных измерений выбросов HF и точечных измерений были систематизированы для различных заводов, расположенных в 27 странах ЕС. Величины постоянных измерений HF в отходящих газах, собранных для 28 вращающихся печей, а также выполненных для 210 периодических замеров, показаны на Рис. 1.53 и 1.55. Пять измерений находились вне шкалы измерений. Кроме них четыре измерений находились на нулевом уровне и один замер – свыше 40. Рис. 1.54 и Рис.1.56 показывают распределение постоянно измеренных выбросов HF и точечных измерений HF. Постоянно измеряемые выбросы были представлены как среднегодовые показатели средних величин суточных замеров. Измерения относятся к 1 нм^3 сухого газа при стандартных условиях. Содержание фторидов в пересчете на HF во вращающихся печах находятся ниже 1 мг/нм^3 [76, 86, 97].

Рис.1.57 показывает, что выбросы фторидов, измеренные на 38 вращающихся печах Германии, составляют в пересчете на HF 0,005 – 0,35 мг/нм^3, а 106 величин находятся ниже предела обнаружения. Эти результаты были получены на основании отдельных измерений, выполненных трижды в год в определенный день. Предел обнаружения находится между 0,04 и 0,06 мг/нм^3 [76, 103].

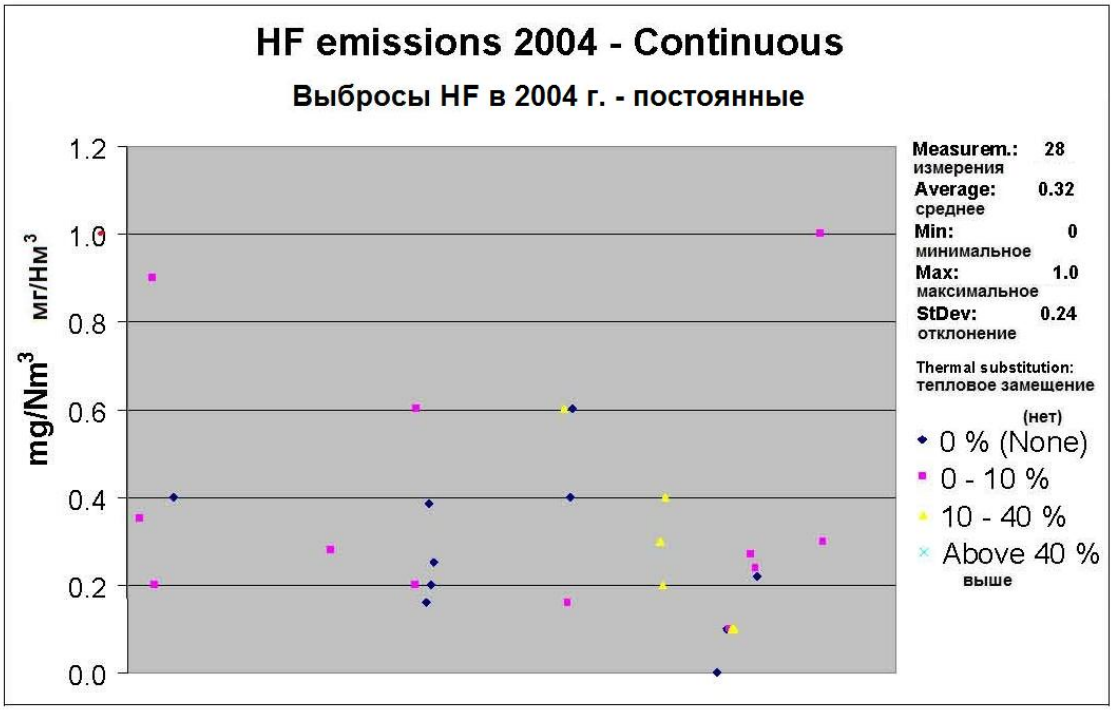

Рис. 1.53 Показатели выбросов HF для вращающихся печей в странах ЕС [97]

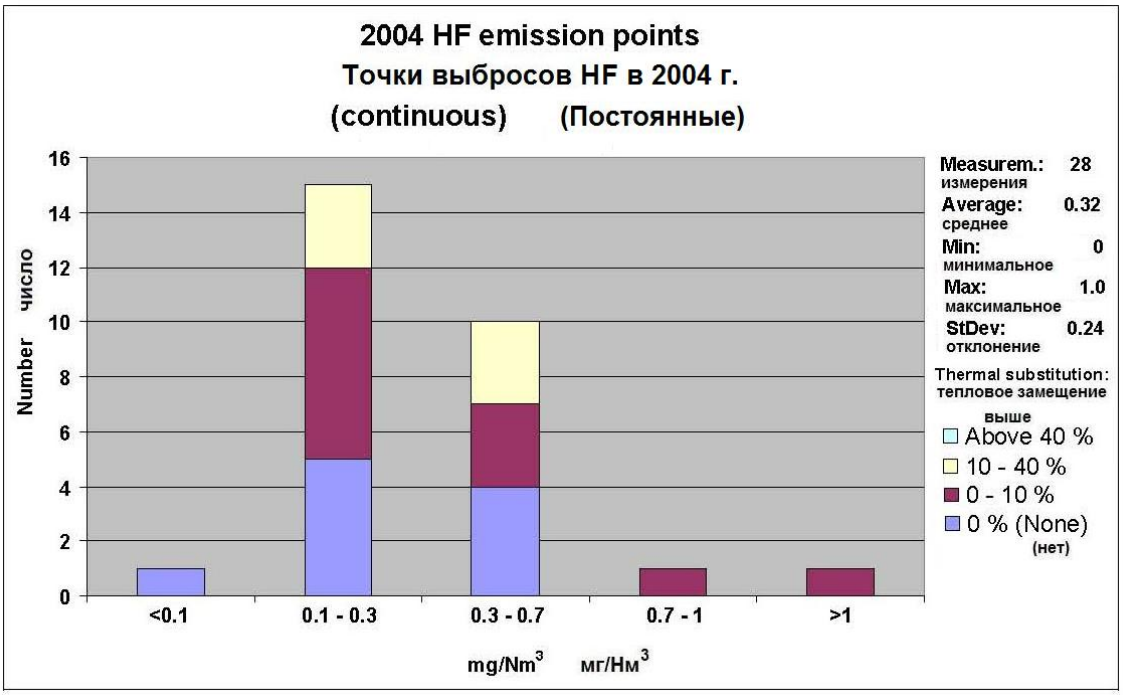

Рис. 1.54 Распределение постоянных измерений HF [97]

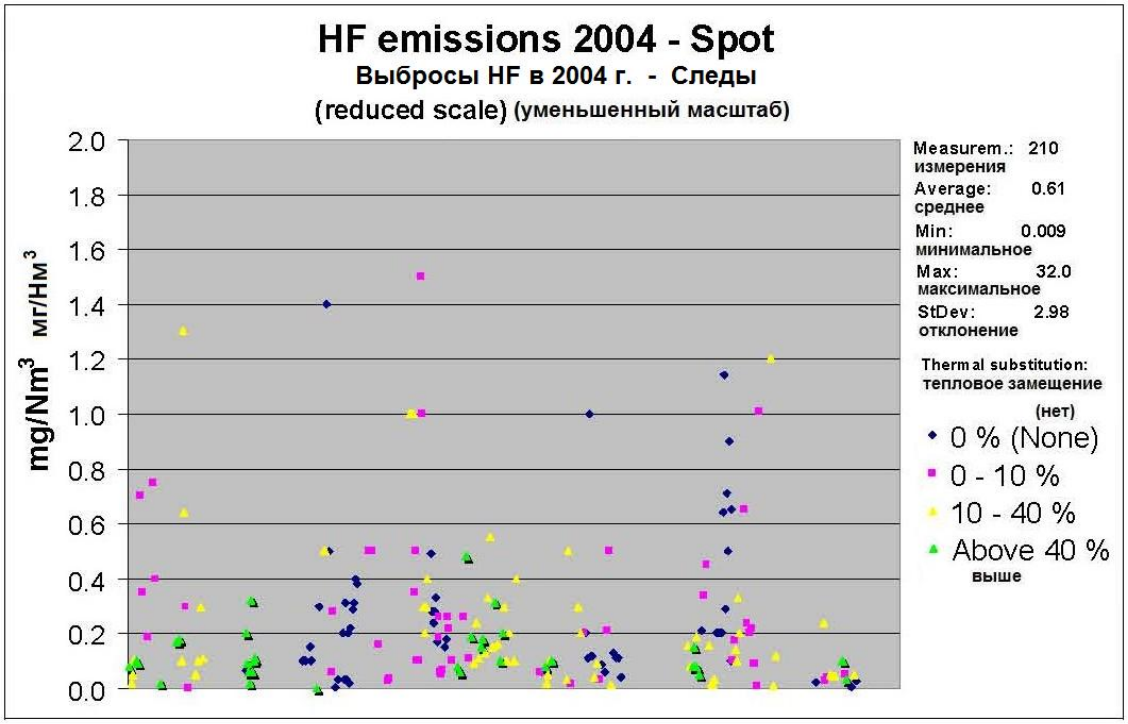

Рис. 1.55 Показатели выбросов HF для вращающихся печей в странах ЕС по периодическим замерам [97]

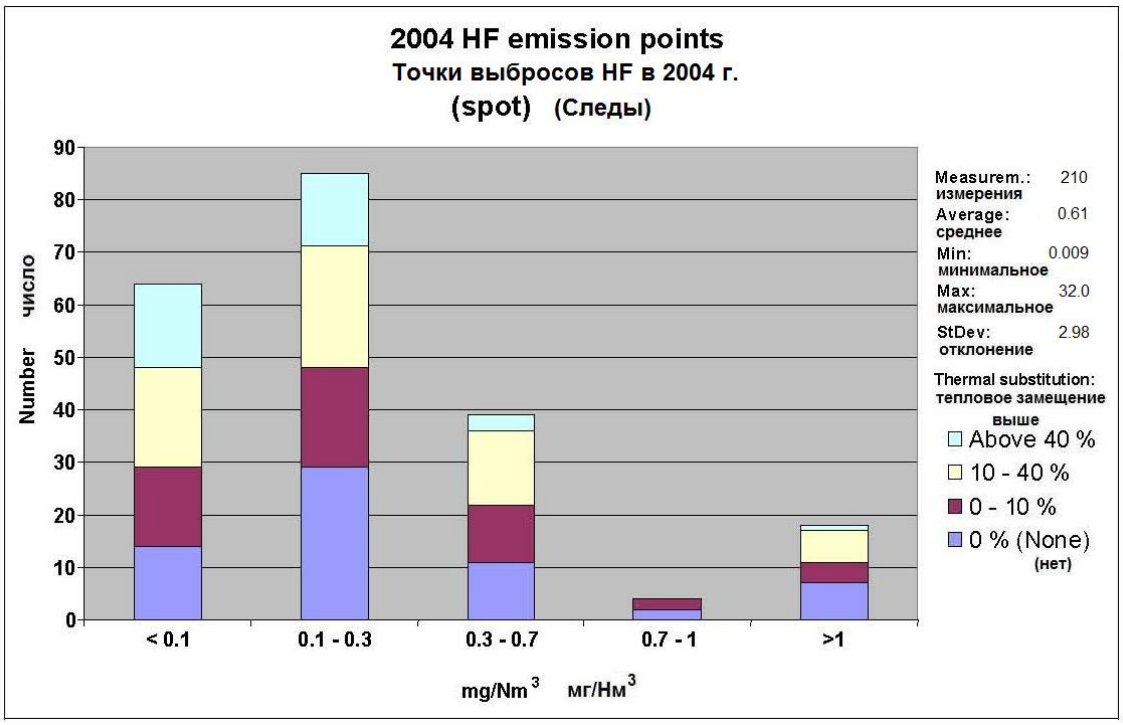

Рис. 1.56 Распределение периодических измерений HF [97]

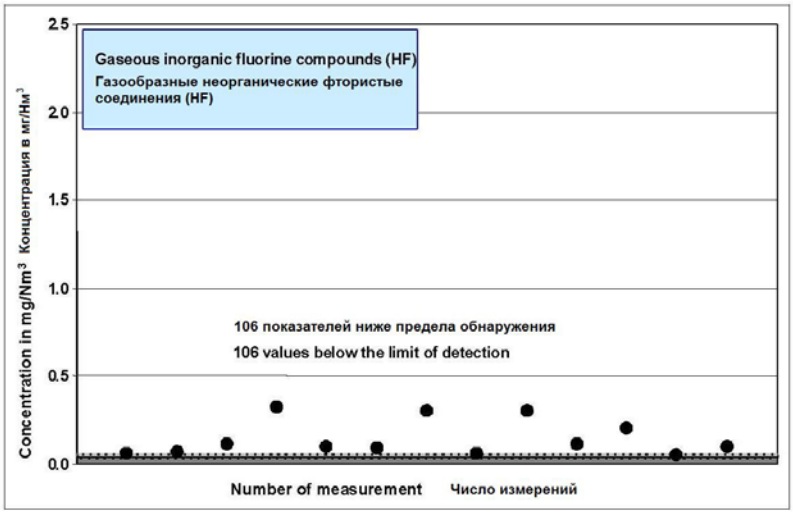

Рис. 1.57 Выбросы газовых неорганических соединений фтора в пересчете на HF, замеренных для 38 вращающихся печей в Германии в 2004 году [76]

1.3.4.9 Аммиак (NH_3)

Выбросы аммиака происходят на начальных процесса обжига клинкера из сырьевых материалов. Содержание аммиака в отходящем газе из цементных печей может достигать 200 мг/нм^3. Дополнительно NH_3 может появиться при нарушении технологии, такой, как селективное некаталитическое восстановление оксидов азота, при которой выделяется непрореагировавший аммиак. Регулярный контроль выбросов NH_3 является необходимым.

Исследования на двух заводах в Швеции с 1996 по 2006 год (первоначальные испытания для оценки выбросов NH_3) показали, что выбросы NH_3 возникают из сырьевых материалов и находятся на уровне 10 – 35 мг/нм^3. С 1998 года один из заводов был оборудован скруббером для улавливания SO_x, который задерживал аммиак в жидкости, что привело к снижению его выбросов. На выходе из скруббера выбросы аммиака измерялись постоянно, начиная с 1998 года, как показано на Рис.1.58. С тех пор как скруббер находится в работе, наивысшая величина выбросов отмечалась на уровне 125 мг/нм^3. Это случилось благодаря увеличению температуры жидкости в скруббере с 53 до 59 ^oC, что снова сдвинуло равновесие в сторону высвобождения аммиака. На заводах, оборудованных установками для помола сырья и угля, аммиак адсорбируется на размалываемых материалах, и лишь небольшая часть транспортируется к цементным мельницам вместе с гипсом (3 кг/час). Цементные мельницы работают при низкой температуре в закрытом цикле и аммиак в цементном силосе может быть обнаружен лишь случайно и в очень небольшом количестве.

В 2007 году на одном из цементных заводов Германии, оборудованном высокоэффективной установкой неселективного каталитического восстановления оксидов азота, в течение шести месяцев были проведены измерения и выполнены исследования по выбросам аммиака. Были достигнуты выбросы NO_x на уровне 350 – 200 мг/нм^3 , при молярном соотношение NH_3: NO в пределах от 0,7 – 0,8 до 1,4 – 1,5. Чтобы достигнуть низких значений выбросов NO_x уровень концентрации NH_3 в установке пришлось поддерживать на уровне 50 – 200 мг/нм^3, особенно при режиме, при котором отходящие газы не использовались для сушки сырья. Выбросы аммиака удваивались при увеличении выбросов оксидов азота с 200 мг/нм^3 (при этом среднее значение выбросов NH_3 в течение составило 11 мг/нм^3), до 350 мг/нм^3 (средняя величина выбросов NH_3 составила 21 мг/нм^3) (см. раздел 4.2.4.2) [160, 173, 182].

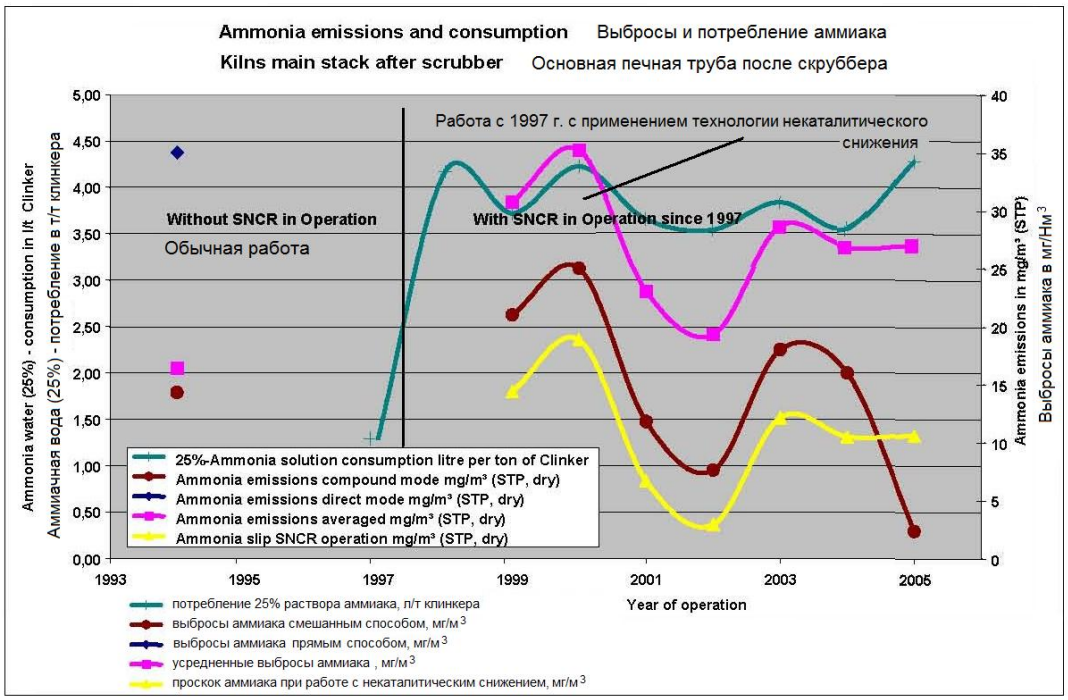

Рис. 1.58 Выбросы аммиака на цементных заводах Швеции, оборудованных скрубберами для улавливания SO_x [114]

На цементном заводе в Ирландии в 2004 году в течение короткого времени были выполнены исследования технологии неселективного каталитического восстановления оксидов азота, показавшие концентрацию NH_3 в пределах 4 – 26 мг/нм^3 в отходящих газах после теплообменника печи. Эти показатели были замерены при испытании двух методов инжекции аммиака (молярное отношение NH_3 : NO было равным 1, при этом величина NO_x снизилась на 50 %). Сдвиг выбросов NH_3 в сторону увеличения наблюдался при сверх стеохиометрическом добавлении восстановителя. Рекомендовано выполнять регулярный контроль содержания этих веществ [76, 103, 114, 123, 168, 173].

На заводе Германии, оборудованном установкой по селективному каталитическому восстановлению оксидов азота выбросы NH_3 находятся ниже 1 мг/нм^3.

Следует отметить, что NH_3 в сырьевых материалах также служит восстанавливающим агентом (см. раздел 4.2.5) [76, 168].

1.3.4.10 Бензол, толуол, этилбензол и ксилол

Измерения этих веществ могут быть затребованы при случае, когда деятельность предприятия происходит в специальных условиях.

На отдельных цементных заводах в Германии с 2004 году были выполнены периодические измерения выбросов бензола, которые составили 0,02 – 3,6 мг/нм^3. Выбросы бензола в малых количествах вызываются органическими компонентами природных сырьевых материалов (остатки организмов и растений, включенные в камень в период геологического формирования месторождения) при их подаче в печь. Примеры выбросов бензола из цементных печей Германии показаны на Рис. 1.59 (минимальный уровень обнаружения – 0,013 мг/нм^3). Выбросы бензола не зависят от типа используемого топлива.

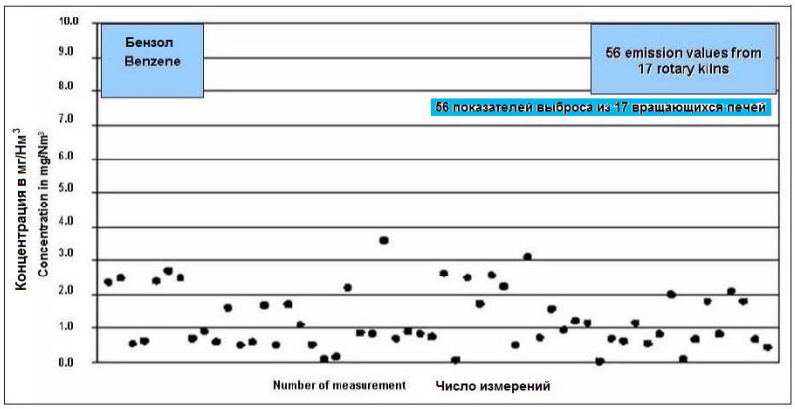

Рис. 1.59. Концентрации выбросов бензола, замеренные на 17 вращающихся печах Германии [76]

1.3.4.11 Полиароматические углеводороды

Измерения концентраций этих веществ могут потребоваться в специальных случаях при определенных условиях эксплуатации.

1.3.4.12 Другие органические загрязнящие вещества

Другими органическими соединениями, появляющимися в цементном производстве, являются хлорбензолы, полихлорированные бифенилы, включающие копланарные гомологи, и хлорнафталины.

Измерения этих веществ могут потребоваться в специальных случаях при определенных условиях эксплуатации.

1.3.4.13 Влияние отходов на выбросы в окружающую среду и энергетическую эффективность при производстве цемента

Влияние на выбросы

Выбросы пыли в процессе обжига клинкера не зависят от использования отходов.

Согласно существующим представлениям, использование пригодных отходов оказывает небольшое влияние на выбросы металлов в процессе обжига клинкера благодаря высокой удерживающей способности материала в теплообменнике и пылеуловителе. Следует отметить, что место питания топливом печи (точка питания) может влиять на выбросы (см. раздел 1.2.4.1). Факторами, определяющими выбросы металлов в процессе производства клинкера, являются поведение отдельных металлов во вращающейся печи, ситуация с их вводом в печь, а также эффективность улавливания в пылеуловителе. Ситуация при подаче сама по себе определяется концентрацией металла в сырьевых материалах и используемом топливе. Поскольку массовое отношение сырьевого материала к топливу равно примерно 10 : 1, ввод металлов с сырьем является решающем для выбросов. На практике использование отходов может снизить или повысить общую подачу индивидуального элемента в печь. Нелетучие металлы захватываются клинкерной матрицей и выводятся из печи совместно с клинкером. Полулетучие металлы, такие как Pb и Cd, образуют стабильные циклы кругооборота в печи. Эти элементы выхолят из цикла и в большом количестве и захватываются либо клинкером, либо пылью. Особая ситуация

наблюдается для Hg и Tl в связи с их летучестью. Специфические температуры процессов в сочетании с высокой летучестью приводят к неэффективному удалению металлов и установке связей между подачей материалов и выбросами в трубе. В зависимости от температуры отходящих газов, ртуть присутствует в исходных частицах и/или в виде паров в пылеуловителе. Поэтому для контроля выбросов ртути и выбросов летучих металлов необходимо ограничить их поступление в печь. При сжигании топливных отходов требуется осуществлять постоянный анализ для контроля содержания в них летучих металлов (см. раздел 1.2.4.3.2).

Выбросы газов, содержащих NO_x, HCl, HF, не зависят от выбранного сырья. Согласно современным представлениям, при использовании подходящей точки питания печи, применение отходов в цементном производстве не оказывает значительного влияния на выбросы. То же самое относится к выбросам SO_2, CO и общих органических соединений. Подача летучих соединений серы или органических соединений через питание сырьевой смесью не увеличивает выбросы при использовании отходов. Образовавшийся SO_2 связывается клинкером во вращающейся печи или в декарбонизаторе без применения дополнительных мероприятий.

Условия горения во вращающейся печи обеспечивают низкую концентрацию выбросов полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов. Отходы, содержащие высокие концентрации органических веществ, которые могут являться прекурсорами данных соединений (например, нефть со следами фенола и хлора), должны подаваться через главную систему обжига чтобы обеспечить их надежное разложение. Если имеется сомнение в выборе точки питания в конкретном случае, соответствующие измерения без и с использованием отходов должны быть выполнены. Выполненные ранее исследования показали, что на практике выбросы полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов ниже, чем предписанный предел 0.1 нг I-TEQ/нм^3 вне зависимости от использования отходов.

Отходы, подаваемые во вторичную зону обжиг сжигания (см. разделы 1.2.4.1 и 1.2.5.1), не проходят высокотемпературную зону печи, что требует количественных ограничений для подачи отходов и параметров процесса. Однако во многих современных декарбонизаторах температура выше 850 ^oC и время пребывания в них материала более 2 секунд, что делает их приемлемыми для использования отходов.

Примеры условий и результатов контроля выбросов из цементных печей Германии при использовании топливных отходов представлены в разделе 4.2.2.1, Табл. 4.5 и 4.6.

Влияние на энергоэффективность производства цемента

Потребности тепловой энергии могут увеличиться, когда используются топливные отходы с высокой влажностью, грубые или с низкой реакционной способностью в сравнении с тонкодисперсным измельченным высушенным топливом с высокой калорийностью. Более низкая энергетическая эффективность также приводит к высоким выбросам и загрязнениям воздуха, увеличивая объем проходящих газов [3, 76, 86, 137, 168].

1.3.4.14 Влияние отходов на качество продукции

Использование отходов в процессе обжига клинкера может изменить концентрацию металла в цементе. В зависимости от общего ввода с сырьевыми материалами и топливом

концентрация отдельных элементов в конечном продукте может увеличиться и снизиться как результат использования отходов в производстве цемента.

Поскольку цемент смешивается с заполнителями, например с гравием и песком для получения бетона или раствора, поведение металлов в строительных материалах (бетон или раствор) является в конечном счете решающим для оценки влияния отходов, используемых при получении клинкера, на окружающую среду.

Выбросы металла из бетона и раствора низкие. Результаты соответствующих испытаний подтверждает, что металлы хорошо связаны с цементной матрицей. К тому же хорошо уплотненный бетон оказывает высокое сопротивление диффузии растворов, которые могли бы способствовать высвобождению металлов.

Испытания бетонов и растворов показали, что концентрация металлов в выбросах заметно ниже величин, предписанных, например, национальным законодательством. хранение в различных и даже экстремальных условиях не ведет к какому-либо заметному повышению высвобождения металлов в окружающую среду. Это также действительно при разрушении образцов материала или предварительном тонком измельчении до проведения испытаний.

Внимательный отбор и контроль отходов обеспечивает безопасность использования отходов без выбросов любых металлов в окружающую среду в опасных для неё количествах. Выбросы металлов частично разрешаются, но в количествах, значительно ниже контрольных для загрязнителей воздуха. Использование отходов не влияют негативно на экологичность продукции. При соблюдении этих условий цемент может использоваться без ограничений для производства бетона и раствора. Вторичная переработка этих материалов остается полностью безопасной.

Содержание металлов в цементах Германии анализируется постоянно. Последние показатели были опубликованы в 2001 г. Сравнение с результатами более ранних исследований показали, что не имеется увеличения в содержании металлов в цементе, хотя за анализируемый период заметно увеличилось использование отходов [76, 168].

1.3.5 Производственные отходы

Производственные отходы при получении цемента состоят в основном из следующих материалов:

- крупные куски сырьевых материалов, появляющиеся в процессе приготовления сырьевой смеси;
- печная пыль из байпасной системы и системы пылеосаждения;
- фильтрат после фильтрпресса, используемого в полумокром способе, содержащий довольно много щелочей и суспендированное твердое вещество;
- пыль после прохождения газов через пылеочистные установки;
- использованные сорбционные вещества (гранулированный известняк, пыль известняка), используемые в системах очистки газов;
- отходы упаковки (пластик, дерево, металл, бумага и т.д.), образующиеся в упаковочном отделении.

Часть выше упомянутых отходов могут возвращаться и повторно использоваться на заводе с учетом требований процесса и конкретной продукции. Материалы, которые нельзя возвращать в производственный процесс, отправляются с завода для использования в других отраслях промышленности или для переработки отходов вне завода на других установках. Печная пыль может быть непосредственно возвращена в процесс производства цемента или использована для других целей.

Полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны также присутствует в отходах и твердых материалах цементной промышленности и после проведенных в 2006 году исследований сообщается, что их концентрация составляет:

- печная пыль и уловленная пылелавливающим устройством пыль:
  - средняя концентрация 6,7 нг I-TEQ/кг;
  - максимальная концентрация 96 нг I-TEQ/кг,
- клинкер:
  - средняя концентрация 1,24 нг I-TEQ/кг;
  - максимальная концентрация 13 нг I-TEQ/кг;

Исследование показало, что в отходах цементного производства содержание ПХДД и ДБФ находится на том же уровне, что и в таких пищевых продуктах, как рыба, масло, молоко и меньше максимально разрешенной концентрации 100 нг I-TEQ/кг сточных осадков, применяемых для сельскохозяйственных земель [88].

1.3.6 Выбросы в воду

В основном цементная промышленность не имеет производственных сточных вод. В цементном производстве сухого или полусухого способа вода используется в небольшом количестве только для процесса очистки. В принципе, сбросов в воду не происходит, потому что вода возвращается в производственный процесс.

В полумокром способе шлам обезвоживается в фильтрпрессах. В мокром способе вода используется для помола сырьевых материалов для получения шлама. Используемые сырьевые материалы часто имеют высокую влажность. Шлам или используется для питания печи, где вода испаряется, или вначале направляется на сушку.

Вода, которая иногда используется для охлаждения клинкера, непосредственно испаряется в процессе охлаждения при высокой температуре клинкера.

Баланс расхода воды для специфического завода можно рассмотреть в Табл.4.24 в разделе 4.2.2.3.

1.3.7 Шум

Шум генерируется во всем цементном производстве, начиная от приготовления сырьевых материалов, сырьевой смеси, в процессе обжига, получения цемента и заканчивая складированием цемента и его отправкой. Тяжелые машины и большие вентиляторы, используемые в различных переделах цементного производства, имеют высокий уровень шума и создают вибрацию, особенно от следующих машин и операций:

- желоба и хопперы;
- любые операции, включающие фракционирование, дробление, измельчение, грохочение сырьевых материалов, топлива, клинкера и цемента;
- дымососы;
- вентиляторы;
- вибраторы.

Заводы должны выполнять требования национальных стандартов по снижению уровня шума. Природные звукозащитные барьеры, такие, как строения, стены, деревья или кустарники используются в цементной промышленности чтобы снизить уровень шума. Если жилая зона находятся близко от завода, планирование строительства новых зданий на промплощадке увязывается с необходимостью снижения шумовых выбросов [45, 81].

1.3.8 Запах

Выбросы запаха являются редкой проблемой на хорошо работающем заводе. Если сырьевые материалы содержат горючие компоненты (керогены), которые не горят при нагревании в теплообменнике, но подвергаются пиролизу, могут появиться выбросы углеводородов. Эти выбросы могут быть видны поверх трубы как "синий туман" или султан, который может вызвать неприятный запах вокруг цементного завода при неблагоприятных погодных условиях.

Сжигание топлива, содержащего серу и/или использование сырьевых материалов, содержащих серу, может приводить к выделению запаха (проблема особенно часто встречается в шахтных печах).

Кроме того, отходы, используемые в качестве сырьевых материалов или топлива, могут приводить к появлению запаха, особенно на различных этапах производства, таких как складирование и переработка. В случае использования аммиака для снижения NO_x, может также возникнуть запах в определенный период процесса производства, если должным образом не управлять эти процессом.

1.3.9 Контроль и мониторинг

1.3.9.1 Контроль параметров и выбросов

При контроле процесса обжига клинкера рекомендуется осуществлять постоянное измерение следующих параметров:

- давление;
- температура;
- содержание O_2,
- NO_x;
- CO и особенно при высокой концентрации SO_2;
- SO_2 (создана техника для оптимизации CO с NO_x и SO_2).

Для определения точного количества выбросов рекомендуется производить непрерывные, постоянные измерения следующих параметров (может появиться необходимость их повторных измерений, если измеренный уровень изменился в сравнении с контрольной точкой):

- объем выбросов дымовых газов (может быть рассчитан, но это относительно сложно);
- влажность (может быть рассчитана, но это сложно);
- температура;
- пыль;
- O_2;
- NO_x;
- SO_2;
- CO.

Регулярный периодический мониторинг выполняется для следующих веществ:

- металлы и их соединения;
- общие органические соединения;
- HCl;
- HF;

- NH_3;
- ПХДД и ДБФ

Однако, можно измерять и контролировать содержание общих органических соединений, NH_3, HCl и HF постоянно и непрерывно отбирать кумулятивные пробы на содержание ПХДД, ДБФ и их прекурсоров для анализа в течение 1-30 суток. Содержание ртути замеряется постоянно в двух государствах – членах ЕС.

Измерения следующих веществ необходимо осуществлять при необходимости при специальных условиях деятельности:

- бензол, толуол, ксилол;
- полиароматические углеводороды;
- другие органические загрязнители (например, хлорбензол, полихлорированные бифенилы), хлорнафталин и др).

Особенно важно замерять выбросы металлов, когда отходы, содержащие летучие металлы, используются как сырьевые материалы или топливо. К тому же, в зависимости от используемых отходов, необходимо производить дополнительные измерения условий процесса и наличия выбросов. При этом должны учитываться Требованиями существующих Европейских и национальных инструкций, например, когда используются сжигаемые отходы, должны удовлетворяться требования Директивы по Сжиганию Отходов (WID, 2007/76/EC) [59]. Если отходы используются в цементной печи, особенно в случае использования промышленных шламов, в отходящих газах цементных печей часто (в некоторых случаях постоянно) контролируются общие органические вещества и ртуть дополнительно к регулярному постоянному контролю выбросов пыли, NO_x, SO_2 и CO. Дополнительная информация, касающаяся постоянных измерений ртути на заводах Германии, может быть найдена в разделе заключений и рекомендаций по цементной промышленности (см. раздел 1.7). В зависимости от количества и типа используемых топливных отходов, условий протекания процесса и наличия выбросов, дополнительно были произведены замеры выбросов HCl, HF, тяжелых металлов, бензопиренов, бензола, ПХДД и ДБФ. Кроме того, использование отходов часто приводит к необходимости повторных измерений, например, один раз в год [76].

Соответственно все эти вещества должны замеряться в случае, когда завод впервые получает разрешение на осуществление своей деятельности в соответствии с директивой КПКЗ.

Дополнительная полезная информация имеется в справочном документе по Основным Принципам Контроля [151].

1.4 Технологии, рассматриваемые в качестве НДТ

В данном разделе излагаются общие меры/методы (технологии) для достижения высокого уровня потенциала по защите окружающей среды в промышленности, что является целью настоящего документа. В него включены системы менеджмента, интегрированные в процесс меры/методы (технологии) и конечные меры/методы (технологии), но существует определенное количество наслоений между этими тремя факторами при поиске оптимальных результатов.

Рассматриваются процедуры предотвращения, контроля, минимизации и рециркуляции, а также повторное использование материалов и энергии.

Меры/методы (технологии) могут быть представлены отдельно, самостоятельно или совместно для достижения задач, поставленных в Директиве КПКЗ. Приложение IV к этой Директиве дает ряд общих соображений, принимаемых во внимание при определении наилучших доступных технологий. По возможности используется стандартная структура для описания каждой технологии, чтобы обеспечить их сравнение, объективную оценку и соответствие определениям НДТ, приведенным в Директиве КПКЗ.

Содержание этого раздела не исчерпывает весь список технологий и других существующих и развивающихся направлений, которые могут быть равноправно значимыми в рамках КПКЗ и НДТ.

Используемая стандартная структура для описания каждой технологии представлена в Табл. 1.30. Однако поскольку связи между ниже приведенными элементами могут наслаиваться друг на друга, структура остается гибкой, отражая индивидуальные случаи.

Таблица 1.30. Структура информации о каждой технологии, описываемой в настоящем разделе

Тип обсуждаемой информации	Тип включенной информации
1	2
Описание	Техническое описание технологии (включая схемы, если это необходимо)
Достигнутые эффекты по защите окружающей среды	Основные эффекты по защите окружающей среды (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, возможности повышения производительности, энергетическую эффективность и т.д.) получаемые при использовании технологии.
Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды	Взаимодействие различных методов и технических решений по защите окружающей среды. Сопоставление их эффектов для окружающей среды в целом
Эксплуатационные данные	Данные о потреблении и выбросах предприятия, использующего данную методику и техническое решение (условия и методы мониторинга). Дополнительная информация, касающаяся режимов, обслуживания и результатов контроля
Применимость	Указание типа заводов, в которых могут быть применены технологии, принимая во внимание возраст завода (новый или действующий), его размер (большой или малый), уже используемые технологии, тип и качество продукции.
Экономика	Информация о стоимости (как инвестиции, так и эксплуатационные расходы) и любые возможные сбережения (например, снижение потребления сырьевого материала или энергии, количество образующихся отходов) или доходные статьи, включающие описания как подсчитывается или оценивается эффективность.

1	2
Движущая сила внедрения технологии	Местные условия или требования, которые приводят к стимулированию внедрения технологии. Информация о причинах применения других мер по сохранению окружающей среды (например, увеличение производительности, безопасности).
Примеры заводов	Примеры заводов, на которых применяются данные технологии и на которых собирается информация.
Ссылка на литературу	Литература и другие материалы (например, книги, доклады, исследования, сетевая информация), используемые для написания раздела и которая содержит больше деталей по данной технологии.

Стоимость технологии должна оцениваться с учетом типа используемых цементных печей, размера установки, эффективности технологии и индивидуальных условий её применения.

В разделе 1.4.8 даны примеры по стоимости, инвестициям, монтажу и эксплуатационным расходам для технологий по обеспыливанию, удалению из дымовых газов неорганических и органических соединений.

1.4.1 Потребление сырьевых материалов

Описание и достигаемые результаты

Рециркуляция и/или повторное использование пыли в производственном процессе снижает общее потребление сырьевых материалов. Эта рециркуляция может иметь место в самой печи путем подачи с сырьевыми материалами (содержание щелочных металлов является лимитирующим фактором) или при смешивании и помоле окончательной продукции.

Использование пригодных отходов как сырьевых материалов снижает потребление природных ресурсов, однако всегда должен осуществляться необходимый контроль за вводимыми в печь веществами.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Сохранение природных ресурсов.

Использование пригодных отходов как сырьевого материала в зависимости от их характеристик может привести к выбросам различных веществ.

Стоимость контроля может увеличиться при выполнении качественного контроля отходов и выбросов.

Эксплуатационные данные

См. раздел 1.2.4.2.

Применимость

Эти меры, в принципе, применимы к цементной промышленности для контроля качества, летучих органических веществ и тяжелых металлов.

Экономика

Стоимость сырьевых материалов может быть снижена.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Экономические соображения.

Примеры заводов и ссылки

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества.

[168]

1.4.2 Снижение потребления энергии (энергетическая эффективность)

Дополнительная полезная информация может быть также найдена в Справочном документе по НДТ обеспечения энергетической эффективности [181].

1.4.2.1 Снижение использования тепловой энергии

Количество используемой тепловой энергии может быть снижено путем внедрения и х оптимизации различных технологий в печной системе (см. раздел 1.4.2.1.1). На потребление энергии современных цементных печей влияют различные факторы: свойства сырьевых материалов, например, влажность, обжигаемость (см.раздел 1.4.2.1.2), используемое топливо с различными свойствами и изменчивость параметров процесса (см.раздел 1.4.2.1.3), а также использование системы байпаса (см. раздел 1.4.2.1.4). Технологии могут применяться раздельно. Однако считается, что они более эффективны в сочетании друг с другом.

Кроме того, производительность печи также влияет на потребность в энергии.

1.4.2.1.1 Печные системы

Описание

Печная система с многостадийными циклонными теплообменниками в сочетании с декарбонизатором и третичным воздухом считается стандартной и высококлассной технологией для новых заводов. В некоторых случаях, когда используются сырьевой материал с высокой влажностью, эксплуатируются заводы с трехстадийным циклонным теплообменником. При условиях оптимизации такие заводы будут потреблять 2900 – 3300 МДж/т клинкера.

Методы оптимизации расхода тепловой энергии могут быть применены на различных установках завода, включая:

- *холодильник:*
  - установка современного клинкерного холодильника со стационарной первичной колосниковой решеткой;
  - использование колосниковой решетки с низким сопротивлением потоку воздуха для обеспечения его более однородного распределения и эффективного охлаждения;
  - обеспечение контроля количества охлаждающего воздуха в отдельных секциях решетки.
- *печь:*
  - использование установок с высокой производительностью;
  - оптимизация отношения длины к диаметру;
  - оптимизация конструкции печи в соответствии с используемым топливом;
  - оптимизация системы сжигания топлива;
  - стабильность параметров эксплуатации;
  - оптимизация процесса контроля;
  - использование третичного воздуха;
  - условия в печи: окислительные, но близки к стехиометрическим;

– использование минерализаторов;
– снижение подсосов воздуха.

- *декарбонизатор:*
  – малое гидравлическое сопротивление;
  – однородное распределение сырья в печном пороге;
  – минимальное образование настылей из-за циркуляции щелочей;
  – интенсивная декарбонизация сырьевой смеси.

- *теплообменник:*
  – малое гидравлическое сопротивление и высокая степень рекуперации тепла в циклонах;
  – высокая степень пылеосаждения в циклонах;
  – однородное распределение сырья в сечениях газоходов;
  – однородное распределение потоков газа и твердого вещества в двухветвьевых циклонных теплообменниках;
  – оптимизация количества ступеней циклонов (от трех до шести циклонов в целом);

- *перерабатываемый материал:*
  – низкая влажность сырьевых материалов и топлива;
  – легкая воспламеняемость топлива с высокой калорийностью;
  – постоянство питания печи и однородность материала;
  – постоянство подачи топлива в печь и его однородность.

- *мельницы:*
  – полностью автоматизированное управление работой мельниц.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды:

Снижение потребления тепловой энергии.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Использование взаимообмена газа с воздухом или системы закалки для длинных печей, так же, как и байпаса газа в теплообменнике/декарбонизаторе увеличивает потребность в тепловой энергии.

При использовании системы охлаждения пламени потребуется дополнительное тепло на испарение воды, что приводит к снижению энергетической эффективности.

Малое количество циклонов приводит к большим потерям тепла с выходящими из теплообменника газами.

Эксплуатационные данные

В оптимальных условиях краткосрочных испытаний (36 часовые испытания) удельный расход тепла составил 2900-3300 МДж/т клинкера. Из-за отклонений от регулярных эксплуатационных условий (например, внезапных остановок, включений – отключений) среднегодовая величина может оказаться выше на 160 – 320 МДж/т клинкера.

В случаях, когда заводы приспособлены и спроектированы специально для использования определенных типов топливных отходов, потребление тепловой энергии находится в пределах 3120 – 3400 МДж/т клинкера. Свойства используемых отходов: калорийность, реакционная способность, степень обработки влияют на энергетическую эффективность производства (см. разделы 1.2.4.3 и 1.3.3.3) [92, 162, 171].

Величины расхода тепла были рассчитаны и определены для печей с производительностью 3000 т/сут. Производственная мощность также влияет на потребность в тепловой энергии. Обжиг клинкера в печах с высокой производительностью, например, 5000 т/сут,, снижает потребление энергии до 100 МДж и даже 200 МДж на тонну клинкера в сравнении с малыми печами производительностью 1500 т/с. Эти показатели связаны с различными потерями тепла на тонну получаемого клинкера. Колебания в потреблении тепла

необходимо учитывать при подсчете энергетической эффективности производства клинкера [84].

Чем больше ступеней в циклонном теплообменнике, тем выше будет энергетическая эффективность процесса обжига клинкера. Наименьшая потребность энергии достигается при наличии пяти или шести ступеней циклонов (см. раздел 1.3.3.1 и Табл. 1.17). Однако их число определяется главным образом влажностью сырьевых материалов (см. также раздел 1.4.2.1.2).

Применимость

Наиболее пригодное число циклонов обусловлено влажностью сырьевых материалов и топлива, которые должны быть высушены за счет тепла отходящих газов, поскольку в зависимости от конкретных условий влажность и обжигаемость сырьевых материалов изменяются в широких пределах [76].

На потребление тепловой энергии современными заводами с декарбонизаторами и теплообменниками оказывают влияние различные факторы, например:

- свойства сырьевых материалов: влажность и обжигаемость (см.раздел 1.2.2, 1.2.4.2 и 1.4.2.1.2);
- использование топлива с различными свойствами (см. раздел 1.2.5.4.1 и 1.4.2.1.4);
- использование системы байпаса газа (см. раздел 1.2.5.4.1 и 1.4.2.1.4);
- качество клинкера;
- размер и производительность печи.

Экономика

Использование энергии (тепловой и электрической) типично составляет 30 – 40 % от стоимости продукции.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Стоимость энергии, также как и торговля квотами на выбросы направлены на энергетическую эффективность.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС;

[9, 60, 76, 81, 84, 86, 92, 136, 153, 154, 162, 168, 171, 181]

1.4.2.1.2 Свойства сырьевых материалов

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Количество и влажность сырьевых материалов влияет на общую энергетическую эффективность производства. Эти параметры определяют число необходимых ступеней циклонов, поскольку материал должен быть высушен преимущественно теплом отходящих газов (см. разделы 1.2.4.2 и 1.3.3, Табл. 1.17). Более высокая влажность потребует большей энергии. Следует отметить, что большое количество циклонов приводит к меньшим тепловым потерям, обусловленным выходящими из теплообменника газами.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Некоторые виды топлива содержат влажные минеральные вещества, используемые в качестве сырьевых материалов, которые необходимо сушить в печи, что увеличивает удельное потребление топлива на тонну клинкера.

Эксплуатационные данные

Сырьевые материалы с влажностью менее 8,5 % перед подачей в печь полностью высушиваются отходящими газами на современных цементных заводах, оснащенных четырех–, пяти– или шестиступенчатыми циклонными теплообменниками. Шестой циклон будет сохранять около 60 МДж/т клинкера по сравнению с пятициклонным теплообменником в случае, когда существует проблема уменьшения энергии для сушки.

Расчеты показали, что для печи с теплообменником с четырьмя циклонами вместо пяти циклонов потребность в энергии увеличивается примерно на 90 МДж/т клинкера. При использовании теплообменника с тремя циклонами потребность в энергии еще более увеличивается и достигает более 250 МДж/т клинкера. Трехциклонный теплообменник используется только в специальных случаях, при использовании очень влажного материала.

При использовании сырьевых материалов с влажностью более 8,5 % меньшее количество циклонов является предпочтительным, так как в этом случае тепло используется для сушки при помоле материала (сырьевые мельницы).

Применимость

Применимо в целом для цементной промышленности.

Экономика

Данные отсутствуют.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона,

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества

[9, 60, 76, 84. 81, 86, 92, 136, 137, 153, 154, 168]

1.4.2.1.3 Свойства топлива

Описание

Топливо характеризуется следующими показателями: калорийность, влажность, содержание серы, металлов, галогенов, летучих веществ, также как и воздухововлечение, оказывающее положительное влияние на удельное потребление энергии печи.

Приготовление топлива, такого, как уголь или лигнит (бурый уголь) и их частичная или полная сушка до подачи в печь и даже на отдельном предприятии приводит к улучшению энергетической эффективности печи, потому что процесс сушки является одним из важнейших факторов в потреблении энергии. Лигнит, например, содержащий 50 % влаги, требует предварительной сушки до поставки его на цементный завод. Использование избытка тепла для сушки топлива приводит к сохранению тепловой энергии. Замена топлива, содержащего повышенное количество влаги, высушенным топливом снижает потребление энергии на тонну клинкера при его обжиге.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Практика работы кальцинатора показывает, что использовании топлива различного качества, от высокореакционного до низкореакционного, влияет на энергетическую эффективность. Использование тонкоизмельченного, высушенного топлива с адекватной калорийностью в сравнении с низкореакционным грубомолотым топливом ведет к улучшению энергетической эффективности процесса обжига.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Некоторые виды топлива содержат влажные минеральные вещества, используемые в качестве сырьевых материалов, которые необходимо сушить в печи, что увеличивает удельное потребление топлива на тонну клинкера.

Большая степень замены топлива на топливные отходы или на твердые отходы с низкой реакционной способностью приводит к увеличению расхода топлива для достижении необходимой потребности тепловой энергии (см. разделы 1.3.3, 1.3.3.3., 4.2.2.2 и Табл. 4.21).

Дополнительная энергия может быть использована при сушке топлива отдельно перед подачей в печь.

Эксплуатационные данные

Сравнение работы идентичных печей при использовании двух видов ископаемого топлива – каменного угля с одной стороны и бурого угля с другой стороны показывает различие в 100 МДж/т клинкера в связи с их различным качеством.

Использование тонкомолотого угля в сравнении с использованием низкореакционного или кускового топлива может снизить потребность в энергии более, чем на 300 МДж/т клинкера. Низкая потребность в тепловой энергии может быть достигнута (даже на малых заводах) использованием легко воспламеняемого топлива с низкой влажностью.

В случаях, когда заводы приспособлены и спроектированы специально для использования определенных типов топливных отходов, потребление тепловой энергии остается низкой, в пределах 3120–3400 МДж/т клинкера. Параметры и свойства используемых отходов: калорийность, реакционная способность, степень обработки – влияют на энергетическую эффективность (см. разделы 1.2.4.3 и 1.3.3.3) [92, 162, 171]. Кроме того, сообщалось, что при работе печи с пятиступенчатым циклонным теплообменником было достигнуто потребление энергии 3473 кДж/кг [81, 163,168].

Применимость

В принципе применимо для всех типов печей.

Местные доступные виды топлива, технические возможности и долгосрочная гарантия его применения являются главными параметрами, которые принимаются во внимание при использовании топлива или его смесей.

При использовании топливных отходов принимается во внимание их калорийность. Необходимо отметить, что при использовании топливных отходов с низкой калорийностью необходимо сжигать большее количество топливных отходов в сравнении с обычным топливом для достижения требуемой тепловой энергии.

Экономика

Стоимость различных типов ископаемого топлива и топливных отходов и их приготовление изменяется в широких пределах.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Экономические требования.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы в 27 странах ЕС, особенно в Австрии и Соединенном Королевстве.

[9, 60, 76, 81, 84, 86, 92, 136, 153, 154, 162, 163, 168, 171]

1.4.2.1.4 Система байпаса газа

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Сырьевые материалы и топливо, содержащие малое количество хлора, серы и щелочей, минимизируют циклы кругооборота в результате внутренней циркуляции между печью и теплообменником. В результате этого снижается риск образования отложений (настылей) на поверхности входа в печь, кальцинатора и двух нижних ступеней циклонного теплообменника из-за высокой концентрации подобных веществ в пыли. Постоянство работы печи с минимальным нарушением режима является основой энергетической эффективности производства клинкера, снижения риска образования настылей и их предотвращения. Снижение циркуляции щелочей и хлора может быть достигнуто использованием байпаса газа на входе в печь. Забираемая из печи часть газа не только приводит не только к снижению содержание хлора, серы и щелочей, но других веществ (см. раздел 1.2.5.4.1).

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Байпасирование горячих сырьевых материалов и горячего газа ведет к повышению удельного потребления тепловой энергии на 6 – 12 МДж/т клинкера на процент байпасированного газа. Минимизация объема байпаса газа оказывает положительное влияние на удельный расход тепла на обжиг клинкера.

Эксплуатационные данные

См. раздел 1.33 по использованию энергии.

Применимость

В принципе, применимо для всей цементной промышленности.

Экономика

Нет данных

Движущая сила внедрения технологии

Требования технологического процесса

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС

[9, 60, 76, 84, 86, 81, 92, 136, 153, 154]

1.4.2.1.5 Снижение содержания клинкера в цементе

Описание

Технология снижения используемой энергии и выбросов в цементной промышленности, выраженную на единицу массы произведенного цемента, заключается в снижении содержания клинкера в составе цемента. Это может быть сделано путем введения наполнителей и добавок, например песка, шлака, известняка, золы и пуццоланы в цемент при его помоле.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение использования энергии, снижение выбросов в атмосферу, сохранение природных запасов, предотвращение отторжения земельных участков для размещения отходов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Введение наполнителей и добавок в конечный продукт на цементном заводе обеспечивает контроль складирования и переработки материалов, а также обеспечивает необходимое качества цемента.

Эксплуатационные данные

В Европе среднее содержание клинкера в цементе составляет 80 – 85%. Многие производители цемента работают над технологией снижения содержания клинкера. Одни заявляют о замене 50 % клинкера без снижения качества цемента и его стоимости. Цементные стандарты предусматривают выпуск некоторых видов цемента с содержанием клинкера менее 20 %, в основном с добавкой доменного шлака. Однако такие цементы с малым содержанием клинкера применяются только для специальных целей.

Применимость

В принципе, применимо для всей цементной промышленности.

Экономика

Нет данных

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Экономические требования.

Наличие и пригодность отходов.

Требования технических условий и проблем снижения выбросов соединений углерода.

Требования стандартов на цемент.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[9, 168].

1.4.2.2 Снижение уровня энергопотребления

Описание

Использование электрической энергии может быть минимизировано установкой систем управления мощностью и применением энергетически эффективного оборудования, таких как роликовые мельницы высокого давления для измельчения клинкера, вентиляторов с переменной скоростью вращения, а также в некоторых случаях путем замены морально устаревших типов сырьевых мельниц на новые (см. раздел 1.3.3.2). Применение улучшенной системы контроля и снижение подсоса воздуха также позволяют оптимизировать потребление электрической энергии. Некоторые технологии снижения выбросов, описанные в последующих разделах, оказывают положительное влияние на потребление энергии, например, оптимизация процесса технологического контроля.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение и минимизация потребления энергии.

Сохранение ресурсов и снижение выбросов и отходов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных.

Эксплуатационные данные

Сравнение основных характеристик различных технологий измельчения показано в разделе 1.3.3. и Табл. 1.19. В некоторых случаях использование электрической энергии минимизировано путем замены старых сырьевых мельниц на новые альтернативные мельницы.

Применимость

В принципе применимо для всех цементных печей.

Экономика

В 2006 году стоимость электрической энергии обычно составляла 15 – 25 % от стоимости производства цемента (см. раздел 1.3.3.2).

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Экономические требования, экономия расходов.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[76, 81, 168, 181, 182].

1.4.2.3 Выбор способа производства

Описание

Выбор способа производства будет оказывать влияние на выбросы всех загрязнителей, а также на потребление энергии, как показано в исследованиях энерготехнологий в цементной отрасли, санкционированных Европейской Комиссией в 1993 году. При этом были определены направления технической модернизации и модификации для сохранения энергии, например, модификация и улучшение процесса помола и подготовки сырьевой смеси, а также развитие системы менеджмента энергопотребления [136].

Как показано в разд. 1.3.3.1 и Табл.1.17, потребление тепла для сушки сырьевого материала и его нагрева зависит от влажности сырьевых материалов. С понижением влажности снижается и потребность в энергии.

Для новых заводов и модернизируемых действующих предприятий типичным становится сухой способ производства с многоступенчатым циклонным теплообменником и декарбонизатором. Ожидается, что печи, работающие в Европе по мокрому способу, будут заменены печами сухого способа [12], также как и печи полусухого и полумокрого способов.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение потребления энергии.

Сохранение ресурсов и снижение выбросов и отходов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных.

Эксплуатационные данные

На современных цементных заводах при использовании сырьевых материалов с влажностью менее 8,5 % их сушка может быть полностью осуществлена отходящими газами в четырех или пятиступенчатых циклонных теплообменниках без дополнительного тепла. Стратегически для получения наибольшей эффективности процесса производства, требуется закрытие заводов, работающих с применением в качестве сырьевого материала мела с влажностью, более 20 %.

В Соединенном королевстве (предприятие Падесвуд) две печи, работающих по мокрому способу, с расходом тепла 5649 МДж/т клинкера, печи были заменены на печь с декарбонизатором. В сравнении с мокрым способом в новой печи общий расход тепла снизился до 3473 МДж/т клинкера, т.-е. снижение расхода тепла составило 2176 МДж/т (около 36 %). Однако потребность в тепловой энергии оказалась выше, чем ожидалось при использовании пятиступенчатого теплообменника, потому что органический углерод, содержащийся в отходах, используемых в качестве сырьевых материалов, сгорал в верхнем циклоне, что и привело к повышению температуры отходящих газов. При совершенствовании процесса, температура в верхнем циклоне снижена, что привело к снижению потребления тепла до 3150 МДж/т. Печи могут использовать 100 % топливных отходов. Однако в 2008 году использовалось только 30 % топливных отходов [81, 163, 182].

Применимость

В принципе, применимо к цементной промышленности для новых, более совершенных установок.

Экономика

Процесс перевода завода с мокрого на сухой способ высокозатратный, требует почти 100 млн.евро.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Предприятие "Падесвуд", Кастл Цемент, Великобритания.

[12, 81, 136, 163, 168, 182].

1.4.2.4 Рекуперация энергии из печи и холодильника / дополнительная генерация энергии

Описание

Действующие заводы для дополнительной генерации пара и электричества или объединенные заводы по выработке тепла и энергии в принципе применяются в цементном производстве (см. раздел 1.2.5.8). Для этого применяются процесс органического цикла Ранкина или обычный процесс парового цикла. Кроме того, избыток тепла из холодильника или печи рекуперируется прямым нагреванием газа.

Основной проблемой для генерации дополнительного количества энергии является разработка соответствующего устройства (турбины). Генерация энергии при низкой температуре отходящих газов применяется на двух цементных заводах. Рекуперация большей части избыточного тепла осуществляется в холодильнике, в меньшей степени – газами, выходящими из печи.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Рекуперация избытка тепла путем генерации пара и электрической энергии происходит независимо от стоимости энергии и выбросов CO_2.

Сохранение ресурсов и снижение выбросов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных.

Эксплуатационные данные

Обычный паровой цикл и процесс органического цикла Ранкина

На цементном заводе Слайт в Швеции используется обычный паровой цикл. Рекуперированное тепло направляется на существующий завод по выработке электрической энергии, примыкающий к цементному производству, где используется для работы паровой турбины, вырабатывающей электричество (примерно одна треть от общего объема пара). Пар генерируется в двухсупенчатой бойлерной системе, часть которой расположена на клинкерном холодильнике, а часть – на нисходящем газоходе печи. Этот завод поставляет около 6 МВт электроэнергии. По расчетам 1999 года, инвестиционная стоимость проекта составила 8 млн. евро для бойлера и системы распределения пара, 25 % которой были субсидированы. Использование существующей паровой турбины значительно улучшило экономическую эффективность установки, однако ее стоимость не была подсчитана. Ежегодное производство электричества достигает 50 ГВт·час, что составляет четвертую часть всей потребности завода в электроэнергии. Более детальное описание процесса представлено в разд.4.2.3.1.

Органический цикл Ранкина используется на цементном заводе в Ленгфурте в Германии для выработки электроэнергии при рекуперации тепла низкотемпературных газов из клинкерного холодильника. Эта технология основана на использовании органической жидкости (пентана). Результаты показали, что при работе по такому способу можно генерировать около 1,1 МВт электрической энергии. Такой эффект был достигнут для 97 % времени работы печи. Выбросы тепла из клинкерного холодильника с отходящим охлаждающим воздухом достигали 14 МВт при температуре отходящего воздуха в пределах 300 – 350 ^{o}C, из которых было рекуперировано в среднем 9 МВатт. Эта технология на заводе используется уже около 10 лет. Более подробное описание технологии приводится в разделе 4.2.3.2.

Рекуперация тепла из клинкерного холодильника или печи для прямого нагрева

Отходы тепла также могут быть рекуперированы из клинкерного холодильника для обеспечения горячей воды. В большинстве случаев бойлер располагается после пылеосадителя, в качестве которого применяется электрофильтр. В противном случае необходимо использовать специальный тип бойлера, стойкий к абразивному износу, а также устанавливать обеспыливающее устройство (рукавный фильтр) после бойлера. Заводы, имеющие подобные установки для получения горячей воды, имеются в Германии и два – в Турции.

Шведский цементный завод в Сковде также имеет бойлер, установленный на нисходящем газоходе дымовых газов из печи. Как и на цементном заводе в Слайте, фактическая рекуперация тепла оказалась меньше ожидаемой и составила 1,2 МВт, вместо 2,5 МВт по проекту. Это связано со свойствами тонкодиспесной пыли в верхней части теплообменника, препятствующей эффективному теплообмену. Использование и рекуперациия тепла газов, выходящих из циклонного теплообменника, вызывает сомнения как с технической, так и с экономической точек зрения.

Применимость

Применимо, в принципе ко всем цементным печам, если имеется достаточный избыток тепла и соответствующие параметры процесса. Местные условия и аспекты стоимости также являются важными.

Экономика

Стоимость крупной теплоэлектростанции полного цикла в среднем находится в пределах 0,8 – 1,2 млн. евро на МВт генерируемой мощности. Для завода в Ленгфурте, в Германии, использующего процесс органического цикла Ранкина, этот показатель выше примерно в 3,3 раза. Этот завод, генерирующий 1 МВт электроэнергии, является относительно небольшим, однако экономически пригоден благодаря поддержке правительства Германии.

Схожая ситуация имеет место и для завода в Слайте, использующего традиционный паровой цикл. Генератор паровой турбины установлен с 25 %-ным запасом, обновлен с расширением части оборудования. Однако в связи с выбросами золей обоснование полноценных инвестиций в установку бойлера и систему генерации энергии является трудоемкой задачей.

При установке более эффективных теплообменника и клинкерного холодильника избыток тепла будет снижаться и с экономической точки зрения генерация дополнительного количества энергии может стать невыгодным, особенно когда основное тепло требуется для процесса сушки материала. Поэтому возможность рекуперации тепла из печи и клинкерного холодильника для генерации энергии должна оцениваться в каждом конкретном случае с учетом всех возможных обстоятельств. Экономическая состоятельность может зависеть от местных условий, стоимости электроэнергии и мощности завода.

Рекуперация тепла для прямого нагрева, особенно из клинкерного холодильника, возможна, если:

- определенное количество избытка тепла имеется в наличии;
- рекуперация тепла путем прямого нагрева пользуется спросом;
- в прямом нагреве заинтересован партнер или он финансируется партнером;
- генератор вырабатывает электрическую энергию, которая может быть использована или на заводе, или для поставки в электрические сети общего пользования.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона, например Директивы по когенерации [94].

Снижение стоимости.

Сохранение ресурсов.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Кроме двух вышеупомянутых заводов в Швеции и Германии, имеются еще другие заводы Алпена (40 МВт) в Мичигане, США, Халла (10,6 МВт) в Корее, Тагада и Канда в Японии [133].

[76, 78, 79, 94, 168, 181].

1.4.3 Основные технологии

1.4.3.1 Оптимизация контроля технологического процесса

Описание

Оптимизация процесса обжига клинкера обычно производится для того, чтобы снизить потребление тепла, улучшить качество клинкера, увеличить длительность эксплуатации оборудования (например, футеровки) путем стабилизации параметров процесса. Снижение выбросов NO_x, SO_2 и пыли является вторичным эффектом оптимизации. Плавная стабильная работа печи с параметрами, близкими к проектным показателям, является благоприятной с точки зрения снижения всех ее выбросов. Оптимизация включает технические решения типа гомогенизации сырьевой смеси, обеспечение постоянной дозировки угля и улучшение работы холодильника. Чтобы обеспечить устойчивую подачу твердого топлива с минимальными колебаниями, необходимо иметь хороший проект загрузочных бункеров, транспортеров и питателей, таких как и современную систему весового дозирования топлива.

Снижение выбросов NO_x осуществляется снижением температуры пламени и обжига, снижением потребления топлива, обеспечением окислительной среды в печи (см. также раздел 1.4.5.1.6). Контроль содержания кислорода (избыток воздуха) является критическим для контроля выделения NO_x. В основном снижение содержания кислорода в холодном конце печи обусловливает снижение количества NO_x. Однако это должно быть сбалансировано, чтобы со снижением количества кислорода не увеличивалось содержание CO и SO_2 [37].

Влияние оптимизации процесса обжига на выделение SO_2 является важным для печей мокрого и сухого способов производства, в том числе и для печей с теплообменником. Снижение выбросов SO_2 достигается с помощью CaO, образующегося в процессе кальцинации, меньшее количество SO_2 улетает при снижении температуры пламени и обжига, при создании в печи окислительной атмосферы и стабилизации работы печи [9].

Избегая нарушений в работе печи, можно избежать проблем с CO при использовании электрофильтров, снизить выделение пыли и снизить выделение любых веществ, адсорбирующихся на частицах пыли, например металлов. Современная система контроля с быстрой измеряющей и контрольной аппаратурой позволяет повысить контроль причин появления и тем самым снизить вероятность появлений следов CO (см. также разделы 1.3.4.1.1, 1.4.5.3 и 4.2.6).

Некоторые поставщики цементного оборудования создают высококлассные автоматические контрольные системы, основанные на регулировании процесса обжига по результатам контроля количества NO_x [37].

Контроль и измерение параметров процесса и выбросов являются существенной частью оптимизации контроля и достижения стабильной работы печи.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение температуры пламени и обжига вызывают снижение выбросов NO_x. Кроме того, может быть снижено потребление топлива. Предотвращение сбоев режима работы печи приводит к снижению выбросов пыли и уменьшению проблем с CO при использовании электрофильтров.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Снижение выбросов и потребления топлива.

Эксплуатационные данные

В зависимости от исходного количества NO_x можно достигнуть снижение его выбросов до 30 %, SO_2 – до 50 %, как было показано для печи мокрого способа и длинной печи сухого способа производства, а также на печи, оборудованной циклонным теплообменником [9].

Применимость

Оптимизация процесса контроля применима ко всем печам и может включать многие элементы, начиная с подготовки/тренировки машинистов печи и до установки нового оборудования: дозаторов, силосов для гомогенизации материала, установок предварительной гомогенизации и новых клинкерных холодильников. Оптимизации процесса оказывает значительное влияние на выбросы SO_2 из печей мокрого способа производства и длинных печей сухого способа производства, а также из печей, оборудованных циклонными теплообменниками.

При использовании электрофильтров контроль за появлением CO применим ко всей цементной промышленности (см. раздел 1.4.5.3).

Экономика

Стоимость оптимизации контроля технологического процесса колеблется в широких пределах, до 5 млн. евро.

Требуются инвестиции до 300000 евро для автоматизации процесса обжига, основанной на контроле выбросов NO_x с применением компьютерной системы, а также требуются дополнительные инвестиции для установки на заводе измерительной и дозирующей техники.

Первоначально оптимизация работы печи даёт снижение операционных расходов, увеличение производительности и повышение качества продукции. Обычно операционные расходы по эксплуатации печи снижаются в сравнении с аналогичными затратами без оптимизации. В результате снижения потребления топлива и футеровки снижается стоимость установки, повышается ее производительность и улучшаются другие показатели.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[9, 37,168]

1.4.3.2 Выбор топлива и сырьевых материалов

Описание

Внимательный выбор и контроль веществ, входящих в печь может снизить количество выбросов. Например, ограничение серы как в сырьевых материалах, так и в топливе, снижает выбросы SO_2. То же самое относится к другим веществам: азоту, металлам, органическим соединениям, хлорсодержащим материалам. Имеется, однако, некоторое различие между печными системами и точками питания печей. Например, с серой топлива нет проблем ни в декарбонизаторе, ни в теплообменнике, а все органические соединения, содержащиеся в топливе, проходя через горелку, могут вывести ее из строя.

Ограничение хлорсодержащих соединений снижает вероятность образования щелочных хлоридов и хлоридов других металлов, вызывающих образование настылей в печи и сбой режимов ее работы, а также ухудшающих работу электрофильтра и, следовательно, увеличивающих выбросы пыли. Высокое содержание щелочных металлов требует большего их удаления из печной системы, чтобы не допустить увеличения содержания щелочей в конечном продукте. В случае использования низкощелочных материалов, можно допустить возврат пыли в производство и тем самым снизить накопление отходов.

Различные типы отходов могут заменять топливо и сырьевые материалы. Однако требуется тщательный контроль и определение характеристик отходов (см. разделы 1.2.4 и 1.2.4.3.2). Отходы, используемые в качестве топлива, должны иметь определенную калорийность, реакционную способность, низкую влажность и небольшое содержание загрязнений, они могут снизить потребление природного топлива (см. разделы 1.3.3 и 1.4.3.3). Отходы, используемые как сырьевые материалы, содержащие летучие органические соединения, галогенсодержащие соединения и ртуть, могут создать проблемы с выбросами. Следует избегать подачу таких материалов в печь (см. разделы 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 и 1.4.7). Количество ртути в материалах должно быть минимизировано и необходимо ограничить ее подачу в печь (см. раздел 1.3.4.13). В этом контексте следует также просмотреть раздел 4.2.2.1.1, где представлены примеры отходов, содержащих различное количество вредных веществ. Отходы, содержащие летучие органические вещества и галогенсодержащие соединения, могут использоваться только в том случае, если эти соединения разлагаются при достаточном времени пребывании и высокой температуре в печи. При использовании отходов требуется осуществлять систематический контроль.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Внимательный выбор топлива и сырьевых материалов может ограничить содержание веществ, увеличивающих количество выбросов. Использование топливных отходов сохраняет ресурсы природного ископаемого топлива и снижает площадь земель промышленного назначения.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Некоторые виды топлива и сырьевых материалов, включающие отходы, могут увеличивать выбросы (особенно те, которые содержат летучие металлы типа ртути).

Эксплуатационные данные

Нет данных.

Применимость

Технические решения могут быть применены в цементной промышленности. Применение пригодных отходов допустимо, когда имеется уверенность, что все органические включения выгорают полностью и гарантируется надлежащий контроль за подачей отходов и снижением количества выбросов, особенно металлов и диоксинов.

Экономика

Нет данных.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества

[74, 76,168, 182]

1.4.3.3 Использование отходов в качестве топлива

Описание

Специально отобранные отходы с адекватной калорийностью (см. раздел 1.3.3.3 и Табл. 1.20) можно использовать в цементной печи взамен обычного ископаемого топлива, такого, как уголь, с учётом их характеристик (см. разделы 1.2.4.1 и 1.2.4.3). Часто они используются только после проведения предварительных испытаний (см. раздел 1.2.4.3.2). Рассматриваются различные критерии, играющие роль в подборе топливных отходов, поскольку они оказывают влияние на работу печи и выбросы, а именно:

- физические критерии, например способность к переносу потоком воздуха;
- химические критерии, например, содержание хлора, серы, щелочей, фосфатов, реакционная способность и содержание летучих металлов.

Чтобы гарантировать характеристики топливных отходов, требуется система обеспечения качества, включающая отбор и приготовление образцов, анализы и внешний контроль. Более полная информация приведена в технической спецификации Европейского Комитета по Стандартизации CEN/TC 343 «Твердые вторичные топлива». В этом контексте см. также раздел 4.2.2.1.1, где представлены уровни концентраций веществ, содержащихся в отходах.

В зависимости от типа используемых отходов и их характеристик важным является место подачи отходов в печь (см. раздел 1.2.5.1), так как это влияет на выбросы из печи. В основном при повышенной температуре воспламенения отходов применяется подача их через главную горелку. Для всех точек подачи температура и время пребывания материала в печи зависит от конструкции печи и ее работы (см. раздел 1.2.4.1). Чтобы удовлетворить требованиям Директивы ЕС по сжигание отходов (WID), температура газов в печи должна поддерживаться не менее 850 ^{o}C в течение 2 секунд (см. разделы 1.2.4.3.2 и 1.3.4.5). Когда используются отходы, содержащие более 1% хлора, температура должна достигать не менее 1100 ^{o}C в течение 2 секунд.

Для контроля выбросов должно быть установлено дополнительное оборудование. Для обеспечения безопасности окружающей среды, ее качества и соответствия стандартам требуются специальный контроль и соответствующие технические решения.

При использования опасных отходов (жидкие топливные отходы), должны соблюдаться меры безопасности, особенно при их предварительной переработке, например, складировании, подаче в производство (см. раздел 1.2.4.3.3.). Меры безопасности для потенци-

ально самовозгорающихся материалов особенно важны при доставке топливных отходов с предприятий предварительной переработки и сортировки.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Выбор и использование топливных отходов обусловлены рядом взаимодействующих факторов, главными из которых являются:

- снижение выбросов CO_2, NO_x;
- снижение использования природных ресурсов, ископаемого топлива и сырьевых материалов.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Характеристики различных типов топливных отходов: влажность, калорийность могут оказывать влияние на удельное потребление энергии, например, низкая калорийность и высокая влажность приводят к увеличению удельного потребления энергии на одну тонну клинкера. Чтобы достигнуть такого же потребления энергии при использовании топливных отходов с низкой калорийностью, требуется их большее количество в сравнении с использованием обычного топлива.

В зависимости от концентрации высоколетучих металлов в топливных отходах при их использовании может изменяться количество выбросов металлов. Это должно контролироваться и минимизироваться путем применения соответствующих мероприятий.

Эксплуатационные данные

При использовании смеси топлив удельное потребление энергии на одну тонну клинкера изменяется по различным причинам, зависящим от типа топлива, его калорийности. Анализ данных показывает, что калорийность ископаемого топлива (угля) находится в пределах 26 – 30 МДж/кг, мазута – 40 – 42 МДж/кг, а калорийность пластиков колеблется от 17 до 40 кДж/кг. Следует отметить, что для всех этих отходов калорийность находится в широком интервале, вплоть до 40 МДж/кг. Калорийность животных отходов, используемых в цементных печах, находится в пределах 14 – 22 МДж/кг.

Применимость

Технические решения, в принципе, могут быть использованы в цементной промышленности при обеспечении полного сгорания органических веществ. Контроль подачи отходов, также как и выбросов, гарантирует меньшее количество выбросов, в частности металлов и полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов.

Экономика

В сравнении с использованием обычного топлива применение топливных отходов снижает производственные расходы. Используемая энергия обычно составляет 30 – 40 % от себестоимости продукции. Поэтому стоимость топлива является значительной частью производственных расходов при получении цемента. Отходы топлива могут быть менее дорогими, чем обычное топливо, хотя стоимость будет меняться в зависимости от типа отходов и местных условий. Однако топливные отходы часто проходят предварительную обработку, гомогенизацию до их использования на цементных заводах, что приводит к их удорожанию. К тому же дополнительный контроль и анализы отходов также повышают их стоимость.

Движущая сила внедрения технологии

Экономические требования.

Снижение стоимости топлива.

Местные условия.

Наличие ресурсов.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества.

[59, 60, 74, 76, 92, 168, 182].

1.4.4 Выбросы пыли

В этом разделе описывается предотвращение выбросов пыли из организованных и неорганизованных источников (см. разделы 1.3.4.1.1 и 1.3.4.1.2). В этом контексте дополнительная информация может быть получена в справочном документе по наилучшим доступным технологиям по выбросам при складировании, по сбросам сточных вод и по обработке газовых отходов и системе менеджмента в химической отрасли [95, 96].

1.4.4.1 Технические решения по операциям, связанным с пылевыделением

Описание

Источниками образования неорганизованных пылевых выбросов являются процессы складирования и переработки сырьевых материалов, топлива и клинкера, также как и любые транспортные средства, используемые в территории производства. Компактное расположение объектов является наиболее простым способом снижения диффузных выбросов пыли. Регулярное и тщательное обслуживание установок всегда приводят к косвенному снижению неорганизованных выбросов пыли благодаря уменьшению подсоса воздуха или предотвращению их негерметичности. Использование автоматических приборов и системы контроля также способствует снижению выбросов пылевидных частиц, также как и постоянная безотказная надежная работа установок.

Различные технические решения для снижения неорганизованных пылевых выбросов, которые могут применяться отдельно или в сочетании друг с другом, приводятся ниже (см. раздел 1.3.4.1):

- укрытие/капсулирование операций, связанных с пылением – измельчение, рассев, смешивание;
- закрытые конвейеры и элеваторы, сконструированные по закрытой схеме, если расдиффузные пылевидные выбросы могут иметь место при транспортировке;
- уменьшение мест подсоса воздуха или просыпания материала, герметизация установок;
- использование автоматических приборов и систем контроля;
- обеспечение безотказной надежной работы;
- использование передвижных и стационарных пылеочистительных установок для надежной и полной очистки:
  - в период работы установки и в период ремонтных работ обычно имеет место утечка материала. Для предотвращения диффузных выбросов пыли в эти периоды необходимо использовать вакуумную систему пылеочистки. Новое строительство может быть оборудовано стационарными вакуумными системами пылеочистки, в то время как на существующих установках лучше использовать передвижные вакуумные системы пылеочистки в связи с их легкой приспосабливаемостью к условиям производства;
  - в некоторых случаях условиях, циркуляционный процесс более предпочтителен для пневматической транспортной системы.
- вентиляция и пылеосаждение в рукавных фильтрах:

  – насколько возможно все материалы должны перерабатываться в закрытых установках, работающих под разряжением. Аспирационный воздух обеспыливается рукавным фильтром до его выхода в атмосферу.
  - использование закрытых складов с автоматической системой перемещения материала:

- клинкерный силос и закрытый полностью автоматизированный склад сырьевых материалов являются наилучшим решением проблемы неорганизованных пылевых выбросов. Такие типы складов оборудованы одним или большим количеством рукавных фильтров для предотвращения образования диффузной пыли при загрузочных и разгрузочных работах;
- использование силосов соответствующей емкости, оснащенных индикаторами уровня материала, выключателями, фильтрами, снабженными распределительными воздушными установками в период заполнения силоса.

- использование гибких шлангов и рукавов, снабженных системой улавливания пыли, для размещения и распределения материала при погрузке цемента в цементовоз.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение неорганизованных выбросов пыли.

Возможно снижение шума.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Увеличение потребления энергии за счет использования вакуумной системы.

Обслуживание пылеулавливающих установок может привести к дополнительным выбросам.

Эксплуатационные данные

В зависимости от применяемого метода в каждом конкретном случае

Применимость

Технические решения, в принципе, могут быть использованы в цементной промышленности.

Экономика

В зависимости от применяемого метода в каждом конкретном случае

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Требования к рабочему месту для сохранения здоровья.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества.

[76, 168].

1.4.4.2 Технические решения для площадок навального хранения и штабелей

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Чтобы снизить выбросы дисперсной пыли на складе, где размещены сырьевые материалы или топливо на открытом воздухе, штабели и площадки навального хранения могут быть закрыты или укрыты с помощью различных перегородок, покрытий, разделены стенами или оградами, состоящими из вертикальных зеленых растений (искусственные или естественные барьеры для предотвращения воздействия ветра).

Для снижения количества неорганизованных выбросов пыли в этих случаях применяются следующие технические решения:

- противоветровая защита:

- если не удается избежать хранения материала на открытом воздухе, необходимо использовать ветрозащитные заграждения.

- водное опрыскивание и химические вещества, подавляющие пыление:
  - в том случае, когда источник пыли локализован, применяют установки водного орошения. Увлажнение частиц пыли облегчает их агломерацию и тем самым улучшает пылеосаждение. Имеется широкий круг веществ, способных улучшить эффект опрыскивания пыли водой.
- покрытие, мытье дорог и их уборка:
  - площади, которые используются для грузовых машин, должны иметь дорожное покрытие, а их поверхность должна по возможности содержаться в чистом состоянии. Мокрая очистка дорог снижает выбросы диффузной пыли, особенно при сухой погоде. Они могут очищаться подметанием, дорожными чистильщиками. Хорошая уборка и очистка дорог держат выделение диффузной пыли на минимальном уровне.
- увлажнение штабелей:
  - неорганизованные выбросы пыли в штабелях могут быть снижены использованием эффективного увлажнения точек выгрузки и загрузки, а также использованием ленточного конвейера с регулируемой высотой сброса.

Если неорганизованную пыль в точках разгрузки-погрузки нельзя осадить и препятствовать ее распространению, ее выбросы могут быть снижены путем перемещения разгружателя по высоте кучи, передвигающегося автоматически по мере надобности или снижением скорости разгрузки.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Потребление воды увеличивается, когда используется увлажнение.

Увеличивается потребления энергии системами пылеулавливания и водного опрыскивания.

При уходе за обеспыливающими установками могут появиться дополнительные отходы.

Эксплуатационные данные

Зависят от конкретных случаев, связанных с техническими решениями.

Применимость

Технические решения выполнимы в цементной промышленности.

Экономика

Зависят от конкретных случаев, связанных с техническими решениями.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Требования к рабочему месту для сохранения здоровья.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества, Гардорский завод в Испании.

[9, 45, 168, 182].

1.4.4.3 Снижение организованных выбросов пыли

На цементном заводе имеются различные источники организованных выбросов пыли. Это печи, клинкерные холодильники и мельницы для помола сырьевых материалов, цемента и угля, а также вспомогательные процессы. Основная часть выбросов пыли (с размером

частиц менее 10 и 2,5 мкм) может быть снижена за счет уменьшения общей величины пылевыделения, достигаемой путем использования эффективной системы пылеулавливания. В прошлом использовались различные обеспыливающие устройства, а с 2007 году главными обеспыливающими установками стали рукавные фильтры, электрофильтры или их сочетание, так называемые гибридные фильтры. В некоторых случаях сообщалось об использовании мембранных фильтров, но не на цементных заводах. Примеры электрофильтров, рукавных фильтров и некоторых пылеуловителей показаны в Табл. 1.24. Выбросы неорганизованной пыли при переработке и складировании, при дроблении и помоле сырьевых материалов и топлива могут быть весьма значительными (см. разделы 1.4.4.1 и 1.4.4.2). Таблица 1.31 показывает суммарные эксплуатационные данные, изложенные в тексте этого раздела. Таблица дает обзор и должна рассматриваться одновременно с соответствующими разделами и параграфами, приведенными ниже.

Электрофильтры и рукавные фильтры имеют свои преимущества и недостатки. В период нормальной работы оба вида пылеуловителей работают с высокой эффективностью. В специальных условиях, когда имеется повышенная концентрация CO, вызванная неожиданные осложнения в работе печи, включением-выключением печи из-за подачи или прекращения питания из сырьевой мельницы, эффективность работы электрофильтра значительно снижается, в то время как эффективность рукавных фильтров подвержена воздействию этих факторов в меньшей степени. Однако при использовании электрофильтра появление CO может быть минимизировано, как это показано в разделе 4.2.6. Электрофильтры и рукавные фильтры имеют высокий коэффициент полезного действия, выше 99 % в зависимости от размера частиц. Оба типа пылеулавливающих устройств периодически должным образом обслуживаются чтобы обеспечить необходимую эффективность. В зависимости от температуры отходящих газов применяются различных виды фильтрующих материалов. Неудобства рукавных фильтров заключаются в том, что использованные фильтровальные рукава являются отходами и должны размещаться в соответствии с национальными инструкциями [9, 103, 168, 182].

Таблица 1.31. Обзор технических решений для контроля выбросов пыли в цементном производстве

Технические решения	Применимость	Данные выбросов [5]		Стоимость [3]	
		мг/нм^3 [1]	кг/т [2]	Инвестиции млн. евро	Эксплуатационные евро/т клинкера
1	2	3	4	5	6
Электрофильтры	все печные системы	10 – < 20	0,02 – 0,05	2,1 – 6,0	0,1 – 0,2
	клинкерные холодильники	10 – < 20	0,02 – 0,05	0,8 – 1,2	0,09 – 0,18
	цементные мельницы	< 10	0,02	0,8 – 1,2	0,09 – 0,18
Рукавные фильтры	все печные системы	< 10	0,02	2,1 – 6,0 [4]	0,15 – 0,35
	клинкерные холодильники	< 10	0,02	1,0 – 1,4 [4]	0,1 – 0,15
	мельницы (сырьевые, цементные, угольные)	< 10	0,02	0,3 – 0,5 [4]	0,03 – 0,04
Гибридные фильтры	все печные системы, клинкерные холодильники, цементные мельницы	< 10 – 20	0,02 – 0,05		
Снижение диффузной пыли	все заводы	–	–	–	–

[1] для обычной печной системы, сухой газ, 273 К, 101,3 кПа и 10 % O_2
[2] кг/т клинкера: для потока газов 2300 м^3/т клинкера

3) стоимость для снижения выбросов до 10 - 30 мг/нм^3, печь производительностью 3000 т/сутки клинкера и начальные выбросы 500 г пыли/нм^3 4) зависит от материала фильтра, см. Табл.1.32, эффективность обеспыливания выше 99,9% 5) данные по выбросам можно найти в соответствующем параграфе этого раздела

Примеры электрофильтров и рукавных фильтров, а также концентрации пыли и эффективность пылеосаждения показаны в разделе 1.3.4.1.1 и Табл.1.24. Эти показатели представляют типичные уровни, что позволяет, при необходимости, выполнить сравнительную оценку оборудования для обеспыливания технологических газов [76].

1.4.4.3.1 Электрофильтры

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Электрофильтры генерируют электрическое поле вокруг проходящих частиц в воздушном потоке. Частицы становятся отрицательно заряженными и мигрируют к положительно заряженным осадительным электродам. Эти осадительные электроды за счет периодического встряхивания или вибраций высвобождают осевшую на них пыль, которая падает вниз, в бункер-коллектор. Циклы встряхивания электродов оптимизируются чтобы минимизировать унос и тем самым довести до минимума пылевынос. Электрофильтры характеризуются их способностью работать при высокой температуре (вплоть до 400 ^oC) и высокой влажности обеспыливамых газов.

Качество работы электрофильтров зависит от различных эксплуатационных параметров, приведенных ниже:

- влажности газа;
- химического состава газа;
- скорости газового поток;
- распределения частиц по размерам и их химического состава;
- электрического сопротивления частиц;
- уровня загрузки;
- температуры газа;
- операций включения – выключения;
- напряженности электрического поля;
- площади и формы электродов;
- концентрации SO_2;
- содержание влаги в осаждаемой пыли;
- промежуточных или переходных режимов работы.

Работа электрофильтра может быть ухудшена при образовании наростов материала на изоляционном слое электродов и, как следствие, за счет снижения напряженнности электрического поля. Это может случиться при наличии большого количества хлора и сульфатов в печи, образующих с щелочными металлами хлориды и сульфаты. Хлориды щелочных металлов образуют субмикроскопические частицы пыли (0,1–1мкм), имеющие высокое удельное сопротивление (10^{12}–10^{13} ом/см) и образующие слои на электродах и таким образом вызывающие проблему удаления пыли.

Проблемы высокого сопротивления могут быть частично решены за счет впрыскивания воды в холодильник – кондиционер дымовых газов. Другим путем решения этой проблемы является использование рукавных фильтров.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Могут образоваться хлориды щелочных металлов и сульфатов в форме частиц пыли субмикроскопического размера.

Повышается риск взрыва при увеличении концентрации CO (см. раздел 1.4.5.3).

Потребление электрической энергии увеличивается с повышением эффективности пылеулавливания.

При выполнении работ по обслуживанию электрофильтра могут появиться дополнительные отходы.

Пыль может быть повторно использована.

Эксплуатационные данные

Электрофильтры большого размера совместно с системой кондиционирования обеспыливаемых газов при оптимизации режима работы могут снизить среднемесячное пылевыделение до 5 – 15 мг/нм^3 (сухой газ, 273 К, 10 % O_2). Проектная эффективность обеспыливания в таких электрофильтрах – выше 99,99 %, поэтому выбросы пыли имеют небольшую величину, всего несколько мг/нм^3. Электрофильтры весьма эффективны для улавливания ультрамелких частиц (< 0,5 мкм), придающих частицам способность агломерироваться. Электрофильтры являются мощным и эффективным оборудованием, относительно интенсивно распространенным в технологическом процессе. Существующие электрофильтры часто могут быть усовершенствованы без полной замены, что снижает стоимость работ по модернизации. Эта модернизация может касаться монтажа более современных электродов или автоматического контроля напряжения на старых установках. В дополнение можно улучшить прохождение газа через электрофильтр или установить дополнительной секции. В 2006 году многие удачные конструкции электрофильтров достигли выбросов пыли на уровне менее 10 мг/нм^3. Электрофильтры с выбросами менее 10 мг/нм^3 могут быть построены с применением современных средств контроля процесса, применением высокого напряжения на электродах, надлежащих габаритов и необходимого количества полей.

Кроме пыли электрофильтры удаляют вещества, адсорбированные на частицах пыли, такие, как диоксины и металлы при их наличии в пыли.

Размер и потребление электрической энергии электрофильтров растет экспоненциально со снижением содержания пыли в очищенном газе. Оптимальная работа электрофильтра зависит от температуры и влажности обеспыливаемого газа. Продолжительность работы электрофильтра может достигать несколько десятилетий при обеспечении всех рекомендуемых условий обслуживания и ремонта. Некоторые части (молотки, подшипники) необходимо регулярно менять после нескольких лет эксплуатации как часть периодического обслуживания и ремонта.

Применимость

Вследствие их высокой эффективности, низкого гидравлического сопротивления, высокой работоспособности и энергетической эффективности электрофильтры становятся наиболее успешными установками для улавливания пыли из отходящих газов вращающихся печей и клинкерного холодильника. Электрофильтры могут быть использованы почти в каждой цементной печи для удаления пыли из отходящих газов, газов из системы байпаса и воздуха из колосникового холодильника.

Анализ литературных данных показывает, что нет ограничений для применения электрофильтров в различных способах производства цементной промышленности. Однако электрофильтры не часто используются для улавливания пыли при помоле цемента, потому что в этом случае инвестиционная стоимость повышается, а эффективность обеспыливания (относительно высокие выбросы пыли) снижается при неполадках в работе и операциях пуска – остановки оборудования.

Электрофильтры характеризуются способностью работать в условиях высоких температур (до 400 ^{o}C) и высокой влажности. Основной неполадкой в этом случае является снижение их эффективности вследствие нарастания слоя материала на поверхности электродов, вызываемого повышенным содержанием хлоридов и сульфатов. Для общего повышения эффективности работы электрофильтров важно предотвратить появление CO в обеспыливаемых газах (см. разделы 1.2.5.6.1, 1.4.5.3 и 4.2.6).

В некоторых случаях электрофильтры могут отключаться при появлении CO в обеспыливаемых газах для обеспечения безопасности (см. разделы 1.3.4.1.1, 1.4.3.1, 1.4.5.3 и 4.2.6).

Экономика

В 2000 году инвестиционная стоимость нового электрофильтра для печи с производительностью 3000 т клинкера в сутки с начальной величиной выбросов 500 г/нм^3 и с содержанием пыли в чистом газе 10 – 50 мг/нм^3 была 1,5 – 3,8 млн.евро и дополнительно при необходимости использования башни кондиционирования и дымососа – 0,6 – 0,8 млн. евро. Эксплуатационная стоимость для той же печи составляла 0,1 – 0,2 евро на тонну клинкера. Инвестиционная стоимость электрофильтра для клинкерного холодильника производительностью 3000 т/сутки с начальным значением выбросов в пределах 20 г/нм^3 и концентрацией пыли в очищеном газе 10 – 50 мг/нм^3, а также для цементной мельницы производительностью 160 т/сутки, начальным уровнем выбросов до 300 г/нм^3 и концентрацией пыли в чистом газе 10 – 50 мг/нм^3 находилась в пределах 0,8 – 1,2 млн. евро; эксплуатационная стоимость – от 0,09 до 0,18 евро на тонну клинкера.

В 2006 году инвестиционная стоимость электрофильтра для обеспыливания отходящих газов (печь производительностью 3000 т/сутки) была в пределах 4,5 – 6,0 млн. евро. Широкий диапазон стоимости зависит от местных производственных условий, стоимости сооружения (являющейся очень значительной) и размера печи и электрофильтра. Стоимость установки и эксплуатации обычно низкая. Различие зависит от местной оценки потребления энергии и стоимости установки (см. раздел 1.3.4.1.1, Табл.1.24) [76].

Дополнительная информация имеются в разделе 1.4.8 и Табл.1.39, где приведены данные по стоимости технологий снижения выбросов пыли.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Требования к рабочему месту для сохранения здоровья.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества.

[3, 9, 10, 12, 27, 76, 86, 103, 168, 182].

1.4.4.3.2 Рукавные фильтры

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Рукавные фильтры являются эффективным пылеулавливающим оборудованием. Основной принцип работы рукавных фильтров заключается в использовании матерчатой мембраны, которая пропускает газ, но задерживает пыль. Различие в конструкции таких фильтров состоит в том, что часть фильтрующих элементов состоит из цилиндрических фильтровальных мешков (вертикальная подвеска), как показано на рис. 1.60, а часть – из фильтровальных пакетов, которые обычно устанавливаются горизонтально. Первоначально пыль откладывается частично на поверхности волокон и проникает на всю глубину ткани, но как только поверхностный слой ткани полностью покроется пылью, она сама становится доминирующей фильтровальной средой. Выходящие газы могут проходить из внутренней части рукава наружу, но и в противоположном направлении. Поскольку слой пыли утолщается, сопротивление прохождению газа повышается. Поэтому необходима периодическая чистка фильтровальной среды, для контроля гидравлического сопротивления фильтра. Обычным способом чистки является периодическая импульсная подача очищенного газа или сжатого воздуха в направлении, обратном обычному потоку газа, механический удар или встряхивание и вибрация. Рукавные фильтры имеют много сек-

ций, которые можно индивидуально изолировать в случае выхода из строя рукава; соответственно фильтрация будет успешной, обеспечивающей адекватное поведение установки, если даже секция будет целиком выведена из эксплуатации. Для этого должен сработать «детектор разрыва рукава», который находится в каждой секции и который указывает на необходимость замены мешка, если случилась неполадка.

Фильтровальные рукава изготавливают из тканого и нетканого материала. Высокая температура обеспыливаемых газов требует применения более экзотических материалов, чем обычные. Современные синтетические ткани могут выдерживать температуру до 280 ^{o}C. Основной характеристикой различных рукавных фильтров является их стоимость, представленная в Табл. 1.32.

Рис. 1.60. Пример рукавного фильтра и фильтрующего материала, используемых на цементном заводе в Соединенном Королевстве [82].

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Увеличение энергопотребления с повышением эффективности обеспыливания.

Увеличение расхода сжатого воздуха для периодической очистки фильтра.

При выполнении работ по обслуживанию и ремонту могут появиться другие отходы.

При использовании спеченных чешуйчатых фильтров может появиться шум.

Эксплуатационные данные

Современные синтетические ткани включают материалы, которые могут работать при высокой температуре, вплоть до 280 ^{o}C. Типичная скорость фильтрации находится между 0,5 и 2,0 м/мин. Относительная эффективность обеспыливания может превышать 99,9 %, поэтому при хорошей конструкции и установке рукавных фильтров достигаются выбросы менее 5 мг/нм^3 (сухой газ, 273 К, 10 % O_2). Кроме того, рукавный фильтр удаляет вещества, адсорбированные на частицах пыли, такие как присутствующие металлы и диоксины.

Основные характеристики различных рукавных фильтров и данные по стоимости показаны в Табл.1.32.

Применимость

Данная технология может использоваться в цементной промышленности почти на каждой печи для сбора пыли из печных отходящих газов, пыли из системы байпаса или избыточного воздуха, выходящего из колосникового холодильника. Имеющаяся литература показывает, что не имеется ограничений в применении рукавных фильтров в различных процессах цементной промышленности. Однако должны учитываться влажность и температура обеспыливаемых газов.

Таблица 1.32. Основные характеристики фильтрующих материалов и их стоимость [86, 81, 134]

Характеристики фильтровальных тканей											
Типы волокон (нет фирменного названия)		Температура службы (^{0}C)		Кислото-стойкость	Щелоче-стойкость	Гидролиз (горяий пар)	Окисле-ние (ки-слород > 13 %)	Стойкость к истиранию	Эффектив-ность фильтра-ции без обработки поверхно-сти	Химическая и механическая обработка поверхности для улучше-ния фильтра-ции и эконо-мики	Относитель-ная стои-мость на единицу по-верхности установки
		Нор-мальная	Наи-высшая	Сопротивление может изменяться из-за температуры и с остава обеспыливаемого газа							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Хлопок		80	80	слабая	хорошая			хорошая	очень хорошая		низкая
Полипропилен	PP	90	100	отличная	отличная	отличная	отличная	отличная	хорошая	нет необходи-мости приме-нения	низкая
Шерсть				средняя	слабая				очень хорошая		низкая
Полиэстер	PES	150	160	низкая	средняя	слабая	отличная	отличная	хорошая	да для про-цесса, но не для силоса накопления диффузной пыли	низкая
Полиакринит-риловый сопо-лимер	PAN	110	120	хорошая	средняя	отличная	отличная	хорошая	хорошая		низкая
Полиакринит-риловый гомо-полимер		125	135								
Нейлон			205	от слабой до средней	отличная			отличная	отличная		
Арамидное волокно	AR/PA	180	200	средняя	хорошая	средняя	отличная	хорошая	хорошая	да для про-цесса обес-пыливания газа	средняя
Поливениленсульфид	PPS	180	200	отличная	отличная	хороший	средняя	хорошая	хорошая		средняя

Полиимид	PI	180	240	средняя	средняя	средняя	хорошая	хорошая	отличная	нет необходимости из-за структуры волокна	высокая
Стекловолокно	GF	280	280	хорошая, за исключением HF	отличная	отличная	отличная	слабая	средняя	рекомендуется низкая скорость фильтрации	средняя
Стекловолокно с ePTFE-мембраной	GF+ Mem	260	280					средняя	превосходная	включается из-за мембраны	высокая
Политетрафторэтилен	PTFE	250	260	превосходная	превосходная	превосходная	превосходная	средняя	слабая	очень рекомендуется	очень высокая

Таблица показывает среднюю стоимость для крупномасштабных покупок, типичных для цементных заводов.

Список стоимостей	Низкая	До 10 евро за м^2 фильтровального полотна, отработанного, упакованного, неустановленного
	Средняя	От 10 до 20 евро за м^2 фильтровального полотна, отработанного, упакованного, неустановленного
	Высокая	От 20 до 40 евро за м^2 фильтровального полотна, отработанного, упакованного, неустановленного
	Очень высокая	Свыше 40 евро за м^2 фильтровального полотна, отработанного, упакованного, неустановленного

Поведение рукавных фильтров зависит от различных параметров, таких, как совместимость фильтрующего материала с характеристиками обеспыливаемого газа и пыли, соответствующее термическое, физическое и химическое сопротивление против воздействия гидролиза, кислоты, окисления и температуры процесса. Важной характеристикой фильтра является размер фильтрующей поверхности, эффективность разделения и сопротивление фильтрации (так называемое “дифференциальное давление фильтра“). Эта величина зависит от свойств фильтровального материала и пыли. Основным параметром для проектирования фильтра является пропускная способность (объем обеспыливаемого газа). Поэтому классификация фильтров должна осуществляться в зависимости от типа, количества и свойств пыли и газа.

Срок службы, потребности в энергии и в обслуживании рукавных фильтров зависят от тепловых и механических нагрузок. Скорость прохождения газа, толщина отложений пыли, пористость и циклы очистки влияют на эффективность удаления пыли. Улучшение работы фильтра, в частности снижение его гидравлического сопротивления ведется в направлении быстрого определения потенциальной утечки с постоянным контролем с помощью детектора, улучшения системы пылеудаления, повышения срока эксплуатации и снижения стоимости. Циклы очистки и методы очистки фильтрующих материалов оказывают влияние на эффективность фильтра. Испытания показали, что при использовании воздушной пульсации низкого давления эффективность повышается, в то же время минимизируется потребление энергии и снижается уровень шума. Эта фильтрующая система может быть использована для обеспыливания отходящих газов из вращающихся печей, а также обеспыливания щелочной пыли байпаса, воздуха клинкерного холодильника, мельниц и классификаторов.

Объединение рукавных фильтров с циклонами применимо для клинкерного холодильника. В циклоне частицы пыли выделяются от газового потока и осаждаются под действием центробежных сил на стенах циклона, а затем удаляются через отверстие со шлюзовым затвором на дне циклона. Центробежные силы проявляются непосредственно в газовом потоке, входящем по касательной в цилиндрический корпус циклона или за счет вращения рабочего вентилятора, находящегося в установке (механический центробежный пылеосадитель). В цементной промышленности циклоны объединяются с воздушным теплообменником для снижения температуры и рукавным фильтром (пылеулавливающая камера с рукавным фильтром) для удаления пыли из отходящих газов холодильника. Циклон может снизить концентрацию пыли до 70 % от исходной. В сочетании с воздушным теплообменником и пылеулавливающей камерой с рукавным фильтром достигается высокая очистка, до 99,99 % при низкой концентрации пыли в выбросах, равной 5 – 7 мг/нм^3. Однако необходимо обеспечить достаточное пространство для установки конструкции, так как циклон имеет большие размеры (25 м длина, 6,4 м высота и 6,4 м диаметр) и объединен с теплообменником. К тому же используется дополнительная электрическая энергия для сбора пыли и её возврата в процесс, что может привести к снижению потребления сырьевых материалов [148].

Спеченые чешуйчатые фильтры иногда используются как фильтрующий материал, однако не в цементных печах. Практика показала, что благодаря их полностью спекшейся плотной форме и специальному покрытию из PTFE, спекшиеся чешуйчатые фильтры являются очень прочными и не требуют большого ухода. Главными достоинствами таких современных фильтрующих материалов является высокая степень очистки газов от пыли в сочетании с малым гидравлическим сопротивлением и высокой стойкостью к абразивному износу. Геометрия фильтра гарантирует очень компактные размеры и фильтр может быть установлен в ограниченных (узких) местах. Выбросы шума могут быть минимизированы использованием плотной крышки (колпака), предохраняющей от проявления шума [144].

Экономика

Для установки нового рукавного фильтра на печи производительностью 3000 тонн клинкера в сутки с начальной величиной выбросов 500 г/нм^3 и с содержанием пыли в чистом газе 10 – 50 мг/нм^3 требуются инвестиции в размере 1,5 – 3,8 млн. евро, а кроме этого дополнительные инвестиции в размере 0,6 – 0,8 млн. евро для строительства башни кон-

диционирования и вентилятора – дымососа. Для эффективного пылеосаждения с КПД более 99,99 % при очистке печных отходящих газов инвестиционная стоимость находится на уровне 4 – 8 млн. евро в зависимости от типа и количества используемых фильтровальных рукавов. Обслуживание фильтра может оказаться ниже, примерно 10 евро на м^2 фильтровальной ткани, как показано в Табл. 1.32. Однако фильтры для печных отходящих газов могут содержать многие тысячи рукавов и такие очень большие фильтры соответственно имеют большую площадь – тысячи м^2. Эксплуатационная стоимость и стоимость по уходу за фильтром зависят от его размера, местной оценки потребления энергии и стоимости содержания фильтра (см. также раздел 1.3.4.1.1 и Табл. 1.24).

Для достижения приемлемой для работы рукавного фильтра температуры газов используются башни кондиционирования. Эксплуатационная стоимость для печи с рукавным фильтром составила 0.1 – 0.35 евро на тонну клинкера. Пульсационный струйный рукавный фильтр с воздухом для воздушного теплообменника и вентилятора фильтра для колосникового клинкерного холодильника печи производительностью 3000 т клинкера в сутки с начальной концентрацией пыли в пределах 20 г/нм^3 и концентрацией пыли в очищенном газе 10 – 50 мг/нм^3 стоит 1.0 – 1,4 млн. евро, а эксплуатационная стоимость около 0,10 – 0,15 евро на тонну клинкера. Для цементной шаровой мельницы производительностью 160 т в сутки, начальным уровнем выбросов пыли до 300 г/нм^3, и концентрацией пыли в очищенном газе 10 – 50 мг/нм^3 инвестиционная стоимость рукавного фильтра находится в пределах 0,3 – 0,5 млн. евро, включая и мельничный вентилятор, а эксплуатационная стоимость – от 0,03 до 0,04 евро на тонну клинкера [9].

Чтобы оптимизировать эксплуатационную стоимость цементные заводы устанавливают оптимальное давление в системе пульсирующего струйного пылеудаления. Нагрузка на фильтр, дифференциальное давление фильтра и система очистки являются тремя главными факторами, оказывающих влияние на снижение стоимости рукавных фильтров. Из-за тесного взаимодействия этих параметров целью является достижение максимально возможных отношений воздух: обшивка, наименьших значений дифференциального давления и более низких давлений воздуха для очистки. Сообщалось о снижении общей стоимости (инвестиции и эксплуатационные расходы) на 12 – 25 %.

См. также Табл.1.32, где показаны основные характеристики для различных рукавных фильтров вместе с показателями стоимости. См.также раздел 1.4.8.1 и Табл. 1.39, где показаны примеры стоимости технологий снижения выбросов пыли.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Требования к рабочему месту для сохранения здоровья.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества; цементный завод Дадфилд, Южная Африка (используется циклон в сочетании с воздушным теплообменником и рукавным фильтром (пылеулавливающая камера с рукавным фильтром), цементный завод в Германии (используются спекшиеся чешуйчатые фильтры).

[3, 9,12,76,81,86,103,134,144,145,146,147,148,168,182].

1.4.4.3.3 Гибридные фильтры

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Гибридные фильтры представляют собой объединение электрофильтров с рукавными фильтрами в одно и то же устройство. Они в основном являются результатом модернизации существующих электрофильтров. Они позволяют повторно использовать часть старого оборудования. Принцип работы гибридных фильтров показан на Рис. 1.61.

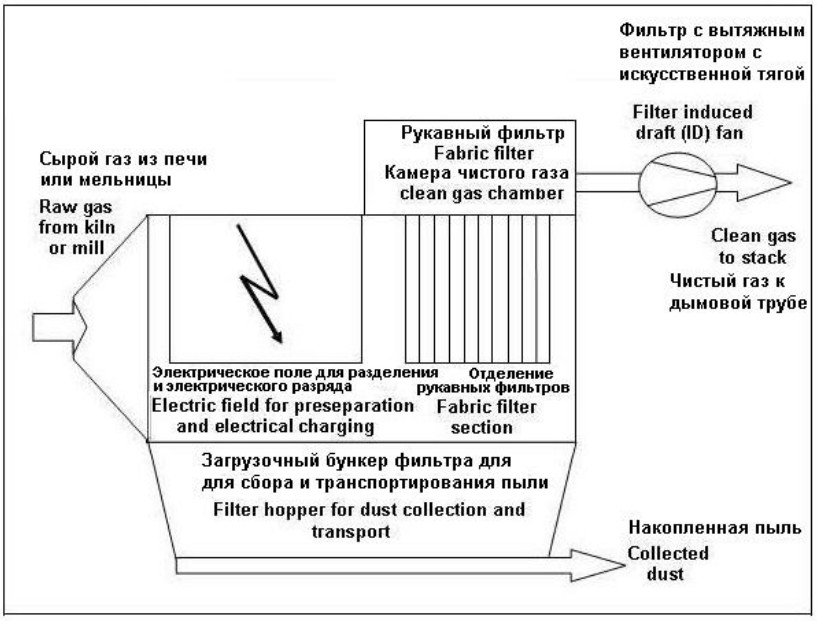

Рис. 1.61. Гибридный фильтр для сбора пыли [135]

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Появление риска в случае высокой концентрации CO.

При осуществлении ухода за фильтром могут появиться дополнительные отходы.

Снижение использования воды в сравнении с электрофильтром.

Сниженное количество производственных потерь/отходов в сравнении с рукавным фильтром.

Эксплуатационные данные

Среднесуточные показатели выбросов пыли гибридных фильтров, установленных на печах, находятся в пределах от < 10 до 20 мг/нм^3 (см. раздел 1.3.4.1.1.). Однако, выбросы пыли менее 10 мг/нм^3 достигаются при хорошем уходе за рукавными фильтрами (см. раздел 1.4.4.3.2).

Применимость

Технические решения применимы в цементной промышленности.

Экономика

См. раздел 1.4.8.1 и Табл. 1.39, где показаны примеры стоимости технологий для снижения выбросов пыли.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Заводы Сагундо и Гадор, Испания, цементные заводы 27 стран ЕС.

[86, 103, 135, 168, 182].

1.4.5 Газообразные вещества

1.4.5.1 Снижение выбросов NO_x

Для снижения или контроля выбросов NO_x считается пригодным использование как первичных мер, интегрированных в технологический процесс, так и специальных технологий или их сочетание с первичными мерами. Ниже приводятся используемые технические решения и технологии:

- охлаждение пламени, т.-е. высокое содержание воды, жидкие/твердые отходы;
- горелки с низким выделением NO_x;
- сжигание топлива в средней части печи;
- использование минерализаторов для улучшения обжигаемости сырьевой смеси;
- постадийное сжигание топлива (обычное топливо или топливные отходы), в сочетании с декарбонизатором и с использованием оптимальной топливной смеси;
- оптимизация процесса обжига.

Специальные технологии, которые могут быть использованы для NO_x:

- технология селективного некаталитического восстановления SNCR и высокоэффективная разновидность;
- технология селективного каталитического восстановления SCR.

Для сохранения окружающей среды и по экономическим соображениям снижение количества выбросов NO_x предпочтительно следует начинать с осуществления первичных технических решений, интегрированных в технологический процесс, а именно: автоматизированное управление технологическим процессом, постадийное сжигание топлива и охлаждение пламени, улучшение конструкции горелок, оптимизация способов присоединения холодильника к печи, выбор топлива и топливных отходов. Некоторые печи с циклонными теплообменниками или циклонными теплообменниками и декарбонизаторами после оптимизации процесса работы и применения только первичных мер имеют выбросы NO_x менее 500 мг/нм^3. Качество сырьевых материалов (т.-е. их обжигаемость), также как состав топливной смеси и конструкция печи являются причинами, не обеспечивающими достижения указанной величины выбросов оксидов азота. Однако, на многих цементных заводах в 27 странах ЕС (42 % в 2008 году) использование SNCR технологии при объединении с первичными техническими решениями позволило достигнуть снижение NO_x, как показано в Табл. 1.33 [76,85]. Два цементных завода используют технологию SCR.

В Табл.1.33 представлен ряд полномасштабных установок, известных в 27 странах ЕС и странах ЕС, являющихся членами Цембюро и использующих технические решения для снижения выбросов NO_x.

Таблица 1.33. Технические решения для снижения выбросов NO_x, используемые в цементной промышленности стран ЕС [85]

Технические решения для снижения/контроля выбросов NO_x						
Страна		Охлаждение пламени	Использование минерализаторов	Постадийное сжигание	SNCR	SCR
Бельгия	BE	2			2	
Болгария	BG					
Чехия	CZ				2 [3)]	
Дания	DK		2		1	
Германия	DE			7	33	1 [1)]
Эстония	EE					
Греция	EL			1		
Испания	ES		4	2	3 + 5 (пилотная фаза)	
Франция	FR	2		7	14 + 4 [6)]	
Ирландия	IE			1	2 [5)]	
Италия	IT	2		7	16 [1)]	1 [2)]
Кипр	CY					
Латвия	LV					

Литва	LT					
Люксембург[1)]	LU					
Венгрия	HU				3	
Мальта	MT					
Нидерланды	NL				1	
Австрия	AT	3		2	8 [3)]	
Польша	PL			9	4	
Португалия	PT	6				
Румыния	RO					
Словения	SI					
Словакия	SK					
Финляндия	FL				2	
Швеция	SE				3	
Соединенное Королевство	UK			1	9 [4)]	
Швейцария	CH	2	1	2	4	
Норвегия	NO					
Турция	TR	1	1	2		

1) сообщалось о работе, но отчет явно преувеличен
2) один завод работает с середины 2006 г., второй – с 2007 г.
3) запланировано на 2008 г.
4) введено в эксплуатацию в 2007 г.
5) назначен пуск в 2007 г.
6) запланировано на 2008 г.

В табл.1.34 приведен обзор технических решений, оказывающих положительное влияние (но необязательно совокупное) на снижение выбросов NO_x, возникающих при производстве цемента. Эта таблица является обобщением эксплуатационных данных, которые имеются в настоящем разделе и должны рассматриваться совместно с соответствующими параграфами следующих разделов.

Таблица 1.34. Технические решения для снижения NO_x, применяемые в производстве цемента [12, 76, 85, 101, 114, 140, 141, 173, 182]

Техническое решение	Применимость для типов печей	Эффективность снижения выбросов, (%)	Данные по выбросам		Данные по стоимости	
			мг/нм^3	кг/т [2)]	Инвестиции, млн. евро	Эксплуатационные расходы, евро/т клинкера
Охлаждение пламени [5)]	Все	0 - 35	Первичное снижение до < 500 –1000 [9)]	1,15 - 2,3	До 0,2	До 0,5
Горелки с низким выделением NO_x	Все	0 - 35	500 - 1000	1,15 - 2,3	До 0,45	0,07
Первичные технические решения [4)]	Все	25	снижается с 1400 до 1050	2,4	0,25	0,056
Сжигание топлива в середине печи	Длинные	20 - 40	Нет информации	-	0,8- 1,7	Нет информации
Использование минерализаторов	Все	10 - 15	Нет информации	-	Нет информации	Нет информации

Постадийное сжигание топлива	Декарбонизатор	10 - 50	800 [9] - 1000	1,84 - 203	0,1 - 2	Нет информации
	Теплообменник				1 - 4	
SNCR [4] [5] [6] [12]	Теплообменик декарбонизатор	30 – 90 [10]	200 [10] [11] – 500 [14]	0,4 - 1,15	0,5 – 1,2	0,1 – 1,7
	Колосниковый теплообменник	35	580 [5] [6]	1,15	0,5	0,84
SCR [7]	Возможно все, теплоомменник и декарбонизатор	43 [13] - 95	200 [8] - < 500	0,23 – 1,15	2,2 – 4,5	0,33 – 3,0

[1] среднесуточное значение, сухой газ, 273 К, 101.3 кПа и 10 % O_2
[2] кг/т клинкера: на основе 2300 м^3/т клинкера
[3] производительность печи 3000 т клинкера в сутки и начальные выбросы NO_x до 2000 мг/нм^3
[4] оценка выполнена экспертной группой для печи производительностью 1100 т/с в 2000 г.
[5] Эксперименты во Франции совместно с министерством по охране окружающей среды, министерством энергетики и ассоциацией производителей цемента в 2000 г. (выпуск 2003 г.)
[6] Сотрудничество ЦЕМБЮРО по снижению NO_x 2006 г., среднегодовая величина, см.раздел 1.3.4.2 и рис.1.29
[7] Германия и Италия, см.табл.1.35 и табл. 4.26, данные по стоимости основаны на использовании печи выбросов1500 м^3/т клинкера
[8] Результаты пилотных испытаний из Германии, Италии и Швеции и результаты испытаний 2007 г. (200 мг/нм^3) итальянского цементного завода, использующего технологию SCR; в 1997 г. два поставщика в Европе предложили полномасштабную технологию SCR для цементной промышленности с гарантией выбросов оксидов азота на уровне 100-200 мг/нм^3
[9] Результаты испытаний Французского цементного завода (проект 10), печь с декарбонизатором, начальное содержание NO_x 1000мг/нм^3
[10] Шведские цементные заводы, среднегодовая величина начальных выбросов NO_x 800 – 1000 мг/нм^3, следы аммиака 5 - 20 мг/нм^3 (см. раздел 4.2.4.1), высокоэффективная технология SNCR, следы аммиака учитываются
[11] Германия: среднегодовая величина 200 - 350 мг/нм^3, следы аммиака учитываются
[12] Низкий диапазон выбросов NO_x может быть результатом повышенного выброса NH_3, зависящего от уровня NO_x
[13] Результаты пилотного испытания и длительной работы демонстрационного завода, см. Табл.1.35
[14] В объединении с процессом интегрированных технических решений; уровень начального NO_x 1200 мг/нм^3; Руководство Французской цементной промышленности по техническим решениям снижения выбросов NO_x, Франция /министерство энергетики/MEDD
[15] Данные выбросов можно найти в соответствующих параграфах в этом разделе

1.4.5.1.1 Охлаждение пламени

Описание

Как показано, на Рис. 1.62, добавление воды в топливо или непосредственно в пламя с использованием различных методов инжекции (впрыскивание жидкости или жидкости + твердого вещества), использование жидких и твердых отходов с высокой влажностью снижает температуру и увеличивает концентрацию гидроксильных радикалов. Это оказывает положительный эффект на снижение NO_x в зоне горения.

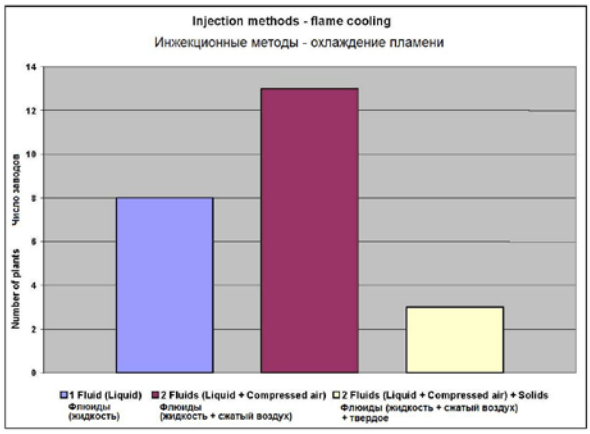

Рис. 1.62 Инжекционные методы, используемые для охлаждения пламени в производстве цемента [85]

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение NO_x в зоне горения.

Снижение выбросов NO_x.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Требуется дополнительное тепло для испарения воды, что вызывает небольшое увеличение выбросов CO_2 (примерно 0,1 - 1,5 %) в сравнении с общим количеством выделяющегося CO_2 в печи.

Энергетическая эффективность процесса обжига снижается.

Впрыскивание воды может причинить проблемы в управлении печью, снизить выход клинкера и оказать влияние на его качество.

Эксплуатационные данные

Сообщалось о снижении выбросов оксидов азота на 10 – 35 %. Среднегодовые показатели выбросов находятся на уровне < 500 – 1000 мг/нм^3 (см. раздел 1.3.4.2, Рис. 1.27 и 1.28).

Применимость

Охлаждение пламени может применяться на всех типах печей, используемых в производстве цемента. Как показано на рис.1.63, около 40 запечных суспензионных теплообменников снабжены оборудованием охлаждения пламени.

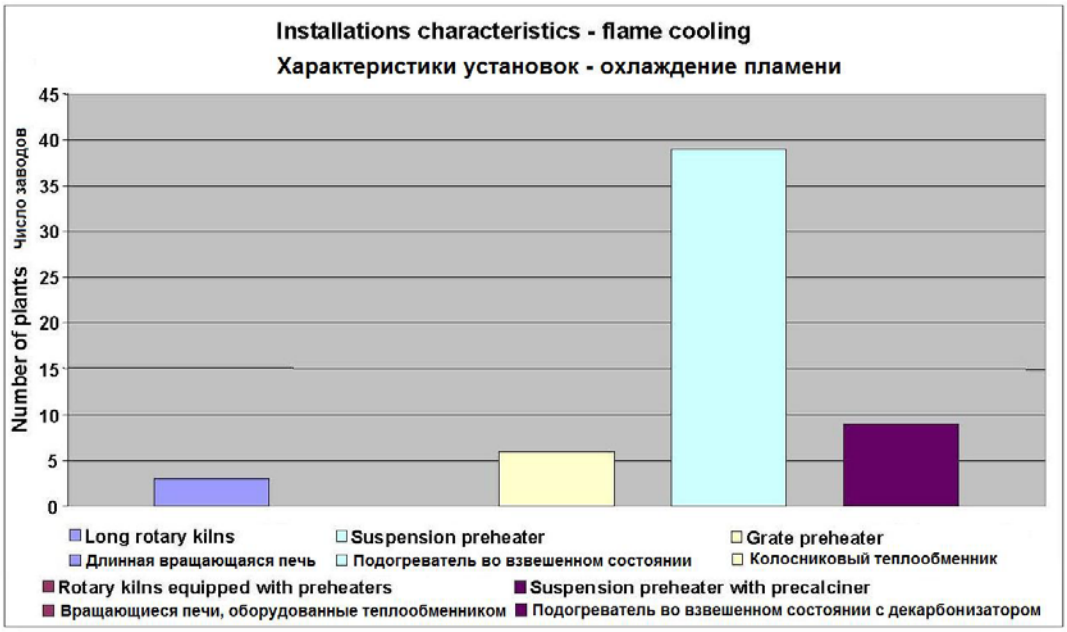

Рис. 1.63. Характеристики установок для охлаждения пламени, применяемых в ЕС

Экономика

Инвестиционная стоимость для печи производительностью 3000 т/сутки оценивается в 0,2 млн. евро и эксплуатационная стоимость – 0,25 евро на тонну клинкера. К тому же, как показано в Табл. 1.34, для эффективного снижения выбросов NO_x до 35 % инвестиционная стоимость должна составлять 0,2 млн. евро и эксплуатационная стоимость – более 0,5 евро на тонну клинкера.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[8, 9, 76, 85, 168, 182].

1.4.5.1.2 Горелки с низким выделением NO_x

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Конструкции горелок с низким выделением NO_x (непрямое сжигание) различаются в деталях, но в большинстве конструкций топливо и воздух подаются в печь через коаксиальные трубы. Количество первичного воздуха снижается до 6 – 10 % от требуемого по стехиометрии для горения (обычно 10 – 15 % в традиционных горелках). Осевой воздух подается с большой скоростью через внешний канал. Уголь вдувается через центральную трубу или через средний канал. Третий канал используется для вихревого воздуха. Закрутка воздуха осуществляется специальными лопатками, расположенными вблизи сопла горелки .

Эффект этой конструкции горелки заключается в очень быстром воспламенении топлива, особенно при наличии в топливе летучих соединений, при недостатке кислорода в атмосфере, что ведет к снижению образования NO_x.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных.

Эксплуатационные данные

В хорошо работающих установках достигается снижение выбросов NO_x на 35 % и среднесуточные величины выбросов на уровне 500 – 1000 мг/нм^3.

Применимость

Горелки с низким выделением NO_x применимы на всех вращающихся печах, в том числе и на печах с декарбонизатором. Однако применение указанных горелок не всегда сопровождается снижением выбросов NO_x.

Установка горелки должна быть оптимизирована. Если первоначальная горелка работает с малым процентом первичного воздуха, горелка с низким выделением NO_x будет иметь предельный эффект.

Экономика

Инвестиционная стоимость для новой горелки с низким выделением NO_x составляет 150000 – 450000 евро для печи мощностью 3000 т клинкера в сутки. Однако при замене обычной горелки на горелку с низким выделением NO_x инвестиции возрастают до 600000 евро и требуется дополнительная работа для модификации угольного склада и установки измерительной аппаратуры. Если существующая система использует прямое сжигание топлива, она должна быть заменена на систему непрямого сжигания, обеспечивающую воспламенение топлива при малом количеством первичного воздуха. Это означает, что требуются дополнительные инвестиции в размере 600000 – 800000 евро для печи с производительностью 3000 т клинкера в сутки.

См. также Табл. 1.34 и Табл. 1.40 (раздел 1.4.8.2), где показаны примеры стоимости.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закон.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[9, 12, 20, 76, 85, 101, 168, 182]

1.4.5.1.3 Постадийное сжигание топлива

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Постадийное сжигание применяется на цементных печах, оборудованных декарбонизатором специальной конструкции. Первая стадия горения происходит во вращающейся печи при оптимальных условиях обжига клинкера. Вторая стадия – в горелке на входе в печь, где образуется восстановительная атмосфера, которая разлагает часть оксидов азота, накопленного в зоне обжига. Высокая температура в этой зоне особенно предпочтительна для реакции превращения NO_x в элементарный азот. На третьей стадии топливо подается в декарбонизатор с количеством третичного воздуха, вызывающего также образование восстановительной атмосферы. Эта система снижает NO_x, образующийся при сжигании топлива, а также уменьшает количество NO_x, приходящего в печь извне. На четвертой финальной стадии оставшийся третичный воздух подается в верхнюю часть системы для остаточного сжигания.

Цементная печь отличается от традиционных местом подачи топлива в печь, распределением путей подачи топлива, печного питания и третичного воздуха, а также геометрической конфигурацией.

Технология постадийного сжигания в основном может быть использована только на печах, оборудованных декарбонизатором. Необходима существенная модификация завода, использующего циклонный теплообменник без декарбонизатора. Если это не может быть связано с увеличением производительности, производителям предлагается решение с так называемым малым воздуховодом третичного воздуха и декарбонизатором. В этом случае в декарбонизаторе получают всего 10 – 25 % тепла для обжига клинкера, но это способствует образованию восстановительной зоны для разложения оксидов азота. С другой стороны, эксперименты показывают, что в печи, в которой 10 % топлива сжигается на входе в нее, не всегда происходит образование восстановительной зоны.

Сжигание кусковых отходов топлива (например, шины) является одним из вариантов технологии стадийного сжигания топлива, при этом сжигание кусков топлива сопровождается образованием восстановительной атмосферы в зоне обжига. В печах, оборудованных запечными теплообенниками и декарбонизатором, подача кусков топлива производится на входе в печь или в декарбонизатор. Как сообщалось, сжигание кускового топлива может снизить выбросы NO_x на 20 – 30 % [76]. Однако при этом очень трудно осуществлять контроль появления восстановительной среды [9].

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Выделения CO и SO_2 могут увеличиться, если процесс сжигания топлива в декарбонизаторе происходит не полностью, а попытка повысить эффективность этого процесса, как сообщалось, сопровождается проблемой увеличения количества выбросов CO и засорением декарбонизатора.

Эксплуатационные данные

На некоторых заводах с хорошо оптимизированным процессом многостадийного сжигания среднесуточный уровень выбросов составляет 450 мг/нм^3 при использовании высокореакционного топлива, хотя, судя по экспериментам в Испании, использование низкореакционного топлива приводило к повышению количества выбросов NO_x до 800 – 1000 мг/нм^3 (среднесуточная величина). Подобные же результаты были получены и по снижению количества NO_x при использовании вторичного топлива.

В 2002 году при испытаниях во Франции, в процессе эксплуатации декарбонизатора с постадийным сжиганием топлива и использованием в качестве топлива серосодержащего нефтяного пека, было достигнуто снижение количества NO_x до 200 мг/нм^3 при начальном его содержании 1000 мг/нм^3. Однако эти результаты были получены только за короткий промежуток времени испытания, причем с использованием оптимальной по обжигаемости сырьевой смеси. В более экстремальных условиях обжига можно обеспечить еще боль-

шее снижение NO_x. Однако при этом очень часто в производстве возникают проблемы, связанные с образованием колец из обжигаемого материала в печи и кальцинаторе. Увеличение выбросов CO наблюдалось только на нескольких заводах, спроектированных на короткое время пребывания топлива в печи или с неоптимизированным процессом его сжигания.

В некоторых случаях в специфических условиях с различным количеством стадий сжигания топлива, возможно снижение NO_x на 50 %. Однако трудно гарантировать такой уровень снижения, поскольку одновременно необходимо ограничить выбросы CO.

Применимость

Технология стадийного горения может быть использована только в печах, оборудованных декарбонизатором. Если печи не имеют декарбонизатор, необходима существенная модификация циклонных теплообменников.

Печи с декарбонизатором позволяют создать независимо друг от друга окислительную/восстановительную среду в печи и в декарбонизаторе. Инжекция части топлива может привести к снижению выбросов NO_x.

Добавление топлива на решетку *печи Леполь* может привести к значительному снижению выбросов NO_x, но может способствовать увеличению других выбросов.

Печи с циклонным теплообменником без декарбонизатора позволяют снизить выбросы NO_x, однако при этом могут увеличиться выбросы SO_2 и летучих органических соединений из-за местной восстановительной среды. Эти выбросы должны постоянно контролироваться.

В Соединенном Королевстве *длинные печи, в которых сжигание топлива производится в их середине*, эксплуатируются в течение нескольких лет.

Экономика

Инвестиционная стоимость установок стадийного сжигания топлива на печах с декарбонизатором находится в пределах 0.1 – 2.0 млн. евро в зависимости от конструкции существующего декарбонизатора. Инвестиционная стоимость декарбонизатора и трубы третичного воздуха для печи с теплообменником производительностью 3000 т клинкера в сутки и колосниковым холодильником находится в пределах от 1 до 4 млн. евро. Инвестиционная стоимость перевода печи с теплообменником и рекуператорным холодильником на печь с декарбонизатором и колосниковым холодильником составляет от 15 до 20 млн. евро.

См. также Табл.1.34 и 1.40 (раздел 1.4.8.2), где приведены стоимости различных печных установок.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[9, 12, 42, 76, 85, 101, 168, 182]

1.4.5.1.4 Печи со сжиганием топлива в середине печи

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

В длинных печах мокрого и сухого способа производства создание восстановительной зоны сжиганием кускового топлива может снизить выбросы NO_x. Поскольку в длинных печах нет свободного доступа в зоны с температурой выше 900 – 1000 °C, система сжигания топлива в середине печи устраивается таким образом, чтобы обеспечить возможность

подачи в неё отходов, которые нельзя подать через основную горелку (например, шины) [9].

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Скорость сжигания топливных отходов может привести к задержке процесса обжига и оказать влияние на качество продукции.

Эксплуатационные данные

Имеющиеся установки по сжиганию топливных отходов в средней части печи обеспечивают снижение выбросов NO_x на 20 – 40 %.

Применимость

В принципе установки по сжиганию топлива в средней части печи могут быть применены для любых вращающихся печей.

Скорость сжигания топлива может быть критической. Если сжигание медленное, то создается восстановительная зона обжига, которая оказывает влияние на качество продукции. Если же горение топлива происходит достаточно быстро, соответствующий участок зоны цепной завесы перегревается и в результате этого цепи выгорают.

Температурный уровень в печи исключает использование вредных отходов, содержащих более 1 % хлора.

Экономика

Капитальные затраты могут для модернизации печи и установки соответствующего перерабатывающего оборудования находится в пределах 0,8 – 1,7 млн. евро, а ежегодные затраты по обеспечению функционирования технологии находятся примерно на таком же уровне.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[9, 21, 168, 182].

1.4.5.1.5 Использование минерализаторов при обжиге клинкера

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Добавление в сырьевую смесь минерализаторов, таких как фтор, является технологией регулирования качества клинкера, позволяющей снизить температуру в зоне спекания. При снижении температуры обжига одновременно достигается уменьшение образования NO_x.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Избыточное добавление фторида кальция может привести к увеличению выбросов HF.

Снижение потребления энергии.

Добавление фторида кальция может оказать влияние на качество продукции.

Эксплуатационные данные

Снижение выбросов NO_x может достигать 10 – 15 %, но сообщалось и о снижении выбросов свыше 50 %.

Применимость

Это техническое решение может, в принципе, применяться в любых вращающихся печах.

Экономика

Зависит от стоимости минерализаторов.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС

[10, 103, 168].

1.4.5.1.6 Оптимизация процесса обжига

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Оптимизация процесса обжига, стабильная и оптимальная работы печи и условий обжига, оптимизация процесса контроля, гомогенизации, подачи топлива применяются для снижения выбросов NO_x. Применяется первичная оптимизация технических переделов: контроля процесса, улучшение работы установок непрямого сжигания топлива, оптимизация холодильника, выбора топлива и оптимизация содержания кислорода при обжиге клинкера. До 2007 года наблюдался прогресс в снижении выбросов NO_x путем применения оптимальных технических решений.

Перекрестные эффекты

Снижение потребности в энергии.

Эксплуатационные данные

Путем оптимизации работы контрольно-измерительной техники и оборудования достигается снижение выбросов NO_x до 500 – 1000 мг/нм^3. Современные хорошо оптимизированные печи с циклонными теплообменниками и печи с циклонным теплообменником и декарбонизатором обеспечивают выбросы NO_x менее 500 мг/нм^3.

Применимость

Качество сырьевых материалов (обжигаемость сырьевой смеси), высокая летучесть топлива и конструкция печной системы являются причинами, не позволяющими достигать выбросов в количестве меньшем, чем упомянуто выше.

Экономика

Цель оптимизации процесса улучшает его стоимость

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Заводы 27 стран ЕС.

[76, 101, 103, 168, 182].

1.4.5.1.7 Селективное некаталитическое восстановление (SNCR)

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

В 2008 году в Европейском Сообществе имелось около 100 полномасштабных установок для селективного некаталитического восстановления оксидов азота. Эта технология включает инжекцию водного раствора аммиака (до 25 % NH_3), водных растворов соединений аммиака или мочевины в дымовые газы для восстановления NO до N_2. Оптимальный температурный интервал протекания реакции – 830 – 1050 ^oC при обеспечении достаточного времени контакта восстанавливающего агента с дымовыми газами.

Для определения оптимального температурного интервала для подачи раствора мочевины или аммиака были выполнены лабораторные эксперименты, а также полномасштабные испытания. Подходящий интервал температуры обычно достигается в печах с запечными циклонными теплообменниками, в печах, снабженных циклонными теплообменниками и декарбонизаторами и в печах Леполь. Однако и заводы, использующие длинные вращающиеся печи, были оборудованы установками селективного некаталитического восстановления для снижения выбросов NO_x. На Рис. 1.64 приведен обзор характеристик печей цементных заводов, использующих упомянутую технологию.

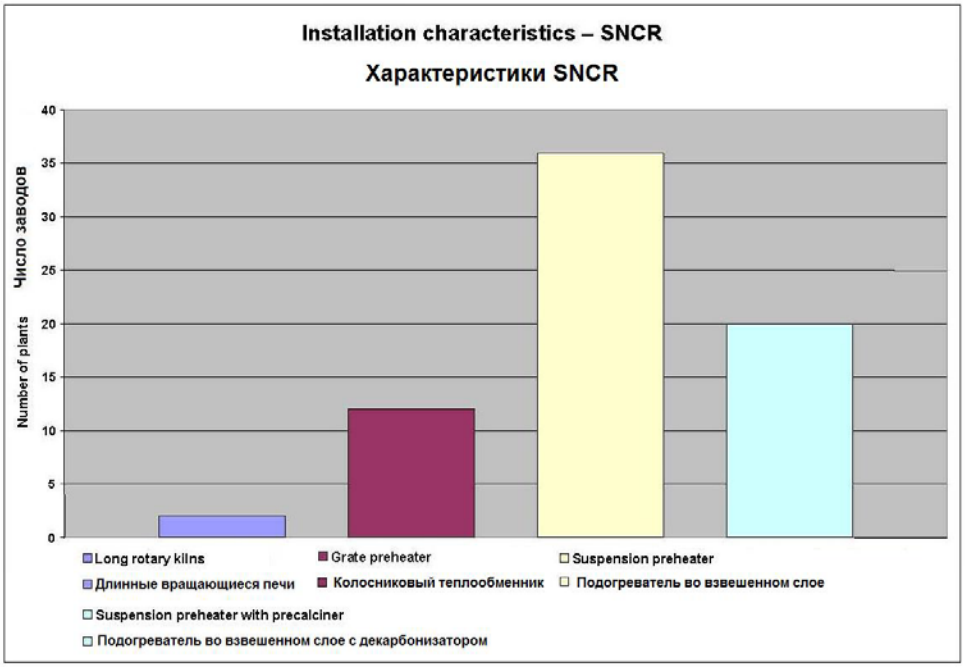

Рис. 1.64. Характеристики цементных заводов стран ЕС, использующих технологию селективного некаталитического восстановления оксидов азота [85]

Как показано на Рис. 1.65, большая часть (32 %) заводов применяют раствор мочевины 27 % заводов используют водный раствор аммиака [85]. Могут использоваться и отходы других производств, содержащие соединения аммиака [76]. Другими возможными реагентами-восстановителями, которые могут применяться в промышленном масштабе, являются газообразный аммиак, растворы солей аммония, сухая мочевина (таблетки мочевины), растворы мочевины, нитрит кальция, цианамид и другие подобные вещества [20]. Склады и транспортные средства проектируются в соответствии с физико-химическими свойствами соответствующих реагентов и требуют дополнительных мероприятий, обеспечивающих безопасность их хранения и переработки. Эксперименты показали, что большинство применяемых растворов аммиака является наилучшим реагентом для технологии некаталитического восстановления оксидов азота в печах, оборудованных теплообменником и декарбонизатором [9]. Хорошее распределение аммиака в стехиометрическом количестве является весьма важным для достижения наивысшей эффективности снижения выбросов оксидов азота и снижения количества следов аммиака. Чтобы достигнуть оптимального использования вводимых реагентов – раствора аммиака или мочевины и обеспечить высокую эффективность снижения NO_x, при проектировании и в производстве необходимо иметь в виду следующие моменты, позволяющие технически и экономически улучшить эксплуатацию рассматриваемой системы:

- инжектирование реагентов должно осуществляться в температурном интервале 830 – 1050 °С, чтобы предотвратить присутствия следов аммиака или его сжигание, поскольку это потенциально может привести к образованию вторичного NO_x;
- если температурный интервал изменяется, необходимо отрегулировать место подачи реагентов; для этого можно использовать установку форсунок для инжекции в различных сечениях газохода, а также осуществлять непрерывный мониторинг температурного профиля в газоходах для оперативного реагирования на изменение температурного интервала;
- регулирование угла впрыскивания и глубины проникновения инжектируемых водных растворов путем изменения:
  - содержание воды в растворе;
  - давления воздуха, используемого для распыления раствора;
  - изменение места расположения форсунки;
  - направления впрыскивания раствора;
- форсунки, которые временно не используются, должны хорошо охлаждаться воздухом, что позволяет избежать их теплового износа; сопла, используемые только иногда, необходимо удалить для предотвращения чрезмерного расхода воздуха;
- необходимо убедиться, что площадь инжекции покрывается должным образом точным стехиометрическим количеством раствора аммиака, чтобы избежать большего или меньшего его впрыскивания; необходимо избегать утечки аммиака и байпаса NOx в обход установки SNCR;
- при необходимости производится замер уровня NOx в каждом циклоне с соответствующим изменением и выравниванием инжекции раствора;
- проверяется стехиометрия через материальный баланс уменьшения NOx относительно впрыскиваемого аммиака чтобы убедиться, что количество раствора аммиака не превышает необходимую величину; одновременно с этим минимизируется утечка аммиака; содержание аммиака, близкое к стехиометрическому количеству – это лучшая его экономия.

Рис. 1.65 показывает применение различных реагентов для снижения выбросов NO_x на различных заводах стран Европейского Сообщества.

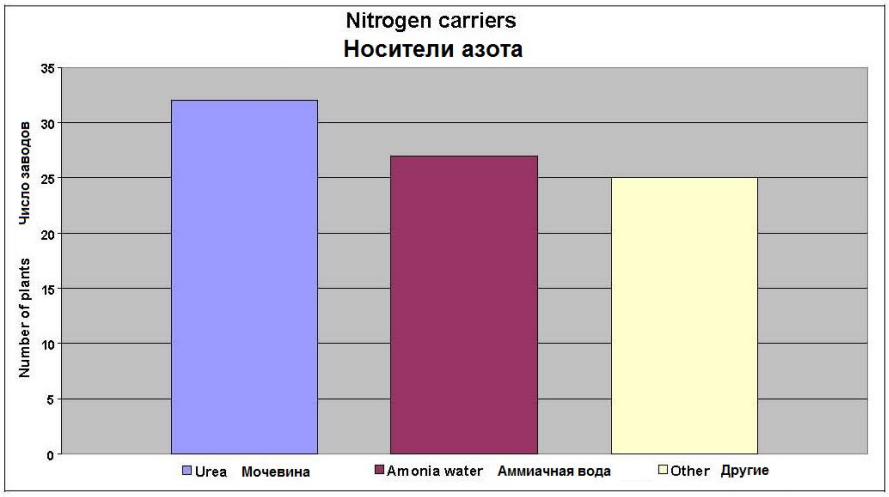

Рис. 1.65. Реагенты – восстановители, применяемые на заводах стран ЕС [85]

Дальнейшее развитие использования технологии SNCR необходимо, если завод уже оборудован системой постадийного сжигания топлива. Одновременное использование этих технологий требует регулирования температуры, времени пребывания атмосферы с таким расчетом, чтобы они соответствовали друг другу. Для того, чтобы произвести эксперименты с одновременным применением этих двух технологий, выполнены промышленные испытания на нескольких печах, оборудованных циклонными теплообменниками и декарбонизаторами. Испытания показали, что возможно, в принципе, объединение двух

технологий. Снижение выбросов NO_x может быть достигнуто инжекцией восстанавливающих реагентов в окислительную, а также в восстановительную зону печи с постадийным сжиганием топлива. Инжекция в окислительную зону более предпочтительна, поскольку вероятность увеличения выбросов CO в этом случае меньше в сравнении с инжекцией в восстановительную зону. Благодаря различным конструкциям декарбонизатора, дизайн и режим работы установки SNCR должны быть адаптированы и оптимизированы к соответствующей технологии. Если восстановитель вводится в газовый поток непосредственно перед нижним циклоном время пребывания реагентов в установленных температурных пределах недостаточно, чтобы достичь значительного снижения NO_x. Следовательно, вероятно увеличение улетучивания аммиака. С другой стороны, некоторые испытания показали, что впрыскивание восстановителя до смесительной камеры декарбонизатора на поверхность, где происходит горение топлива, может увеличить количество выбрасываемого CO.

Высокоэффективная технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота

Высокоэффективная технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота является дальнейшим развитием технологии SNCR, используемой на цементных заводах. В контролируемых условиях посредством плоскорасположенных форсунок раствор аммиака (25% раствор) впрыскивается в теплообменник. Расположение используемых форсунок определяется температурным профилем в подъемном канале. Инжекция аммиачной воды регулируется путем измерения и контроля температурного профиля в теплообменнике в месте расположения форсунок. Вследствие хорошего распределения улетучивание NH_3 и потребление аммиачной воды снижаются. Эта технология была внедрена в 1996/97 годах на двух заводах в Швеции и на одном заводе в Германии.

Проскок аммиака

Для нормально течения процесса важно, чтобы аммиак впрыскивается в зону печи, где температура находится в пределах 830 – 1050 ^oC. Если температура упадет ниже этого уровня, непрореагировавший аммиак выделяется и создается так называемый проскок (улетучивание) аммиака; при значительном повышении температуры аммиак окисляется до NO_x. Утечка аммиака может также произойти при повышении отношения NH_3 : NO_x до 1,0 – 1,2. В других отраслях промышленности утечка NH_3 иногда приводит к образованию аэрозолей солей аммиака, которые проходят через фильтры и становятся видимыми как белый «султан» поверх отходящих газов над дымовой трубой. Исследования показали, что значительно меньшее количество аэрозолей образуется на цементных заводах. Неиспользованный аммиак может окислиться до NO_x и воды. Утечка NH_3 может произойти за счет обогащения аммонийными соединениями пыли, не возвращаемой в цементную мельницу. Возможность утечки аммиака должна учитываться при проектировании установок SNCR. Снижение выбросов NO_x не может быть осуществлено только в результате желания, так как высокая дозировка при впрыскивании аммиака может привести к утечке (улетучиванию) NH_3 (см.также Рис. 2.50 в главе по промышленности по производству извести). Правильное применение технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота (соответствующая система контроля, оптимизация инжекции водного раствора аммиака) не повлечет за собой повышения выбросов аммиака по сравнению с нормальным его количеством.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

При использовании раствора аммиачной воды как восстанавливающего реагента, может произойти, как описано выше, проскок аммиака и выделиться непрореагировавший аммиак. Могут появиться выбросы закиси азота N_2O, однако они играют малую роль, поскольку их концентрация находится в пределах 1 – 5 мг/нм^3, что примерно равно пределу их обнаружения. Дополнительно может увеличиться выброс оксида углерода CO, если впрыскивание восстанавливающего реагента до смесительной камеры декарбонизатора на поверхность, где происходит горение топлива.

Дополнительное тепло для испарения воды восполняется теплом реакции восстановления оксидов азота, которая приводит к небольшому увеличению выбросов CO_2. Транспортирование и складирование растворов аммиака является потенциально опасным для

окружающей среды и требует некоторых дополнительных технических решений для обеспечения безопасности. Также требуется предусмотреть проблемы, связанные с производством аммиака, его транспортировкой, получением водного раствора и разбавлением этого раствора.

При использовании мочевины как восстанавливающего реагента, главным конечным продуктом является аммиак и диоксид углерода. Сообщается о выбросах оксида азота (NO), изоциановой кислоты (HNCO) различной концентрации и оксида азота, происходящих в результате разложения мочевины. Количество образующегося N_2O из мочевины значительно выше, чем из раствора аммиака. Образование оксидов азота из мочевины изменяется с температурой. Исследования показывают, что наибольшее снижение NO_x и максимальное образование N_2O имеет место в том же температурном интервале. Изоциановая кислота в основном гидролизуется с образованием аммиака и оксида углерода, однако сообщается и о её проскоках в неизмененном виде. К тому же исследования показывали, что в дополнение к закиси азота (N_2O) и изоциановой кислоте (HNCO) впрыскиваемая мочевина также приводит к образованию ионов цианида (NCO). Этот продукт никогда не образуется при использовании аммиака для технологи SNCR. Следует также отметить, что использование мочевины приводит к бо̀льшим выбросам оксида углерода (CO), чем при использовании аммиака.

Эксплуатационные данные

Большинство установок технологии SNCR, эксплуатируемые в 2006 году, были спроектированы на снижение количества NO_x на 30 – > 50% (мольное соотношение NH_3 : NO_2 от 0,5 до 0,9) и количество среднесуточных выбросов NO_x в пределах < 350 – 800 мг/нм^3 в зависимости от начальной концентрации NO_x.

Конструкция установки и ее функционирование для ещё большего снижения выбросов NO_x модернизируется в соответствии с тем, как описано выше ниже (высокоэффективная технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота). Два завода с установками рассматриваемой технологии, поставленными различными поставщиками, гарантирующими 80 %- снижение выбросов оксидов азота, фактически достигли 80 – 90 % сокращения выбросов (при исходном количестве NO_x в пределах 800 – 1100 мг/нм^3), что соответствует среднесуточным выбросам NO_x менее 200 мг/нм^3 (см. раздел 4.2.4). Выбросы NO_x в количестве 190 мг/нм^3, как было сообщено, достигнуты на цементном заводе в Швеции в 2006 году.

При объединении интегрированных первичных технических мероприятий с высокоэффективной технологией селективного некаталитического восстановления достижимо среднесуточное снижение выбросов оксидов азота на 80 – 90 % с концентрацией менее 500 мг/нм^3 при начальной ее величине 2000 мг/нм^3 [43].

Высокоэффективная технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота и проскок аммиака

Рассматриваемая технология была внедрена в 1996/97 года на двух заводах в Швеции и на одном заводе Германии. Шведские заводы (в целом с тремя печами) используют печи сухого способа с циклонными теплообменниками и декрбонизатрами. Снижение выбросов > 80 % было достигнуто при мольном соотношении NH_3 : NO, равном 1,0 – 1,2, что привело к среднесуточным выбросам NH_3 20 мг/нм^3. Не было отмечено никаких значимых выбросов NO_2 и CO и отсутствие следов аммиака в цементе. В 2001 году на одном заводе при мольном соотношении NH_3 : NO_x, равное 1,0 – 1,2 (молей NH_3 на присутствующий в газах моль NO_x), что в пересчете составило 1,2 – 1,4 молей NH_3 на удаленный моль NO_x, эффективность снижения выбросов оксидов азота составила 80 %, в то время как на другом заводе применялось отношение 1,2 – 1,4 молей NH_3 на присутствующий в газах моль NO_x или 1,5 – 1,8 молей NH_3 на удаленный моль NO_x. Сообщалось, что среднегодовая величина выбросов NO_x составила 200 мг/нм^3. Следует заметить, что этот уровень выбросов был достигнут с 1998 года на обоих цементных заводах при начальном количестве NO_x на уровне 800 – 1000 мг/нм^3 и величина снижения стабильно составляет 80 %.

В Германии рассматриваемая технология (восстанавливающим реагентом был 2 % раствор аммиака) применена на печи с производительностью 3000 т клинкера в сутки, обо-

рудованной теплообменником с четырьмя циклонами. Начальная величина NO_x находилась в пределах 500 – 1200 мг/нм^3. Через несколько лет эксперименты показали, что величины выброса в 500 мг/нм^3 и меньше может быть постоянной и достигнута без каких-либо значительных остатков аммиака.

В 2007 году результаты длительных 6-имесячных испытаний показали, что среднесуточные выбросы NO_x 350 мг/нм^3 и 200 м/нм^3 были достигнуты при мольном соотношении NH_3:NO, равном соответственно 0,7 – 0,8 и 1,4 – 1,5. В течение этих испытаний выбросы NH_3 замерялись постоянно. Эти измерения показали наличие проскоков аммиака при снижении выбросов NO_x до 200 мг/нм^3, особенно в период остановки мельниц (максимально 50 – 200 мг/нм^3). В целом выбросы аммиака появлялись дважды при снижении выбросов оксидов азота до 200 мг/нм^3 (NH_3: в среднем за три месяца 11 мг/нм^3) и до 350 мг/нм^3 (NH_3: средняя величина за три месяца 21 мг/нм^3). За период испытаний время остановки сырьевых мельниц составило около 10 – 20 %. Не было отмечено обогащение аммиаком сырьевой смеси и пыли электрофильтра. Испытания показали, что выбросы аммиака должны внимательно учитываться (см. также раздел 4.2.4.2). Проскок и утечка аммиака, которая может появиться из-за вышеупомянутых процессов, ограничивается сверхстехиометрической добавкой восстанавливающего реагента [160, 173].

В 2004 году в Ирландии исследования технологии SNCR, выполненные трижды за короткое время, показали низкую концентрацию выбросов NH_3, в пределах 4 – 26 мг/нм^3 (10% O_2) в дымовом газе после теплообменника печи. Это было результатом оптимизации инжекции, приводящей к высокой эффективности снижения и в небольшом избытке аммиака. Эти концентрации были замерены при проведении испытаний (отношение NH_3: NO, равное 1) со снижением NO_x до 50 %. Следы NH_3 устанавливают ограничения на сверхстехиометрическое введение добавки восстанавливающего реагента [123].

Детальное описание высокоэффективной технологии SNCR, используемой в Европейском Сообществе, можно найти в разделе 4.2.4. Выбросы аммиака из цементного производства описаны в разделе 1.3.4.9.

Применимость

Технология SNCR и высокоэффективная технология SNCR применимы, в принципе, для любых вращающихся печей. Место инжекции различается с изменением типа печи.

В длинных печах мокрого и сухого способа очень трудно получить нормальную температуру и необходимое время пребывания. Только один завод с печью сухого способа и один завод с длинной печью мокрого способа успешно применили рассматриваемую технологию для снижения выбросов оксидов азота с эффективностью в пределах 40 – 50 %.

Риск относительно хранения аммиака снижается складированием 25 % водного раствора аммиака.

Экономика

Для печи производительностью 3000 т/сутки с теплообменником при исходных выбросах NO_x 2000 мг/нм^3 и при его снижении на 85 % (т.е. до 300 мг/нм^3) инвестиционная стоимость рассматриваемой технологии при использовании аммиачной воды как восстанавливающего реагента составляет 1,5 – 1,2 млн. евро. На стоимость сильно влияет местные правила складирования аммиачной воды. Эксплуатационная стоимость той же печи находится в пределах 0,3 – 0,5 евро на одну тонну клинкера, цена, в основном, определяется стоимостью инжектируемого аммиака [9, 85].

Технология некаталитического восстановления оксидов азота была внедрена в 1996/97 годах на двух заводах в Швеции. Инвестиционная стоимость для одной печи составляла 1,2 млн. евро (0,65 млн. евро за внедрение технологии и 0,55 млн. евро за складирование и хранение аммиачной воды), эксплуатационная стоимость составила 0,55 евро на тонну клинкера. Общая стоимость (инвестиции + эксплуатация) была меньше 0,6 евро на тонну клинкера. Инвестиции для другой печи составили 0,55 млн. евро при эксплуатационной стоимости 0,3 евро на тонну клинкера. Движущей силой внедрения технологии на этих двух заводов была Шведская политика относительно выбросов NO_x. Согласно этой политике любая инвестиция по снижению выбросов по своей стоимости (инвестиции + экс-

плуатационные расходы) меньше, чем 4,5 евро на кг сниженного NO_x (в пересчете на NO_2) вполне приемлема.

Онализ 26 цементных заводов, использующих рассматриваемую технологию, внедренную в 2004 году в цементной промышленности Германии, показал, что средняя инвестиционная стоимость на одну печь находится в интервале 0,5 – 0,75 млн. евро. Однако во Франции она стоит 1 млн. евро. Затраты на сооружение для складирования реагентов достигают 50 % всех инвестиционных вложений. Общая стоимость находится в пределах 0,5 – 0,7 евро на тонну клинкера при использовании раствора аммиака и в случае отходящих газов с высоким содержанием NO_x. Детальная калькуляция стоимости вращающейся печи с производительностью 1500 т/сут показывает удельную стоимость между 0,4 и 1,2 евро на тонну клинкера в зависимости от уровня снижения выбросов NO_x. Дополнительные расчеты для печи мощностью 3500 т/сутки и снижения NO_x с 850 до 250 мг/нм^3 показали, что инвестиционная стоимость составляет 0,88 млн. евро и эксплуатационные расходы - 0,40 евро на тонну клинкера.

См. также Табл.1.34 и Табл.1.40 (раздел 1.4.8.2), где приведены данные по стоимости технологии некаталитического снижения выбросов оксидов азота.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Заводы 27 стран ЕС, высокоэффективные технологии SNCR в Швеции и Германии (Маерке). Описания заводов Швеции и Германии даны в разделе 4.2.4.1 и 4.2.4.2 соответственно.

[8, 10, 20, 24, 41, 42, 43, 76, 85, 101, 105, 114, 123, 131, 160, 168, 173, 182].

1.4.5.1.8 Селективное каталитическое восстановление оксидов азота (SCR)

Описание

В технологии SCR NO и NO_2 восстанавливаются до N_2 с помощью NH_3 и катализатора при температуре около 300 – 400 ^oC. Эта технология широко применяется для снижения NO_x в других отраслях промышленности (теплоэлектростанций, при сжигании отходов). В цементной промышленности в основном рассматриваются две системы: установка с низким пылевыделением между системой обеспыливания и дымовой трубой и с высоким пылевыделением – между теплообменником и системой обеспыливания. Установка системы с низким пылевыделением требует повторного подогрева отходящих газов после их обеспыливания, что сопровождается дополнительными затратами на энергию и потерями давления. Система с высоким пылевыделением газов более предпочтительна по техническим и экономическим показателям. Эта система не требуют дополнительного подогрева, так как температура газов на выходе из теплообменника обычно достаточно высокая для работы с применением SCR технологии.

Потенциально с применением SCR технологии может быть достигнуто снижение выбросов NO_x до 85 – 90%, но до 2008 года только одна система с высокой запыленностью дымовых газов была испытана в цементной промышленности.

В 2008 году в 27 странах ЕС на двух полномасштабных производствах были выполнены эксперименты, чтобы устранить технические и экономические неопределенности относительно технологии SCR. Главная неопределенность касается высокой запыленности газов – вплоть до 100 мг/Нм^3, технических решений для осаждения и возврата пыли, вида и времени жизни катализатора, общей стоимости (инвестиционной и эксплуатационных расходов). Эксперименты показали, что большое значение имеют соответствующая конструкция и химический состав катализатора.

Принимая во внимание высокий потенциал снижения выбросов, успешность пилотных испытаний на двух полномасштабных экспериментов и факта применения технологии SCR в других отраслях, технология SCR представляет интерес для цементной промышленности. Имеется два поставщика в Европе, которые предлагают технологию СКР для цементной промышленности с гарантией выбросов оксидов азота в пределах 100 – 200 мг/нм^3. Однако капитальные затраты на SCR технологию все еще выше, чем на технологию некаталитического снижения выбросов оксидов азота [12].

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение выбросов NO_x.

Поскольку катализаторы разлагают углеводороды, то при внедрении технологии SCR снижаются также выбросы общих органических соединений и выбросы полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Потребность в электрической энергии может увеличиться из-за внутренней системы обеспыливания в технологии SCR и потери давления.

Системы с низкозапыленными газами требуют подогрева отходящих газов после их обеспыливания, что требует дополнительного расхода энергии и потери давления.

Катализаторы можно использовать неоднократно или удалять.

Эксплуатационные данные

В 1990-х годах предварительные испытания на заводах в Германии, Италии и Швеции показали обнадеживающие результаты. Были достигнуты уровни выбросов NO_x около 100 – 200 мг/нм^3 без потери активности катализатора. На заводах в Австрии в период между 1996 и 2000 годами были проведены три пилотных испытания с небольшими порциями (3 %) газов с высокой запыленностью. Одно из них было успешным с точки зрения снижения выбросов NO_x, однако испытания не были продолжены. Два других испытаний не были успешными из-за дезактивации катализатора тяжелыми металлами и щелочными соединениями после нескольких недель испытаний. На одном заводе проявился значительный абразивный износ катализатора после 5000 часов работы [18, 92].

В 2000 году в Германии при поддержке правительства был построен завод, использующий технологию SCR с высокозапыленными газами для полномасштабной ее демонстрации. Он проработал с 2001 по 2006 годы. Однако в 2008 году завод был остановлен в ожидании улучшенного типа катализатора. В сравнении с технологией некаталитического снижения выбросов оксидов азота рассматриваемая технология потребляла меньше NH_3 и соответственно имела меньшую эксплуатационную стоимость. На верхней, четвертой стадии теплообменника газы имели температуру 320 – 350 ^oC, что было приемлемо для технологии SCR и не требовался подогрев газов, как это было бы необходимо в случае монтажа установки между рукавным фильтром и дымовой трубой, что и снизило стоимость энергозатрат. Эффективность снижения выбросов NO_x обычно находилась на уровне 59 – 67 %. Однако если эксплуатационные условия были нестандартными и дымовой газ из печи содержал NO_x в количестве 3000 мг/нм^3 и выше, снижение NO_x было более высоким и по наблюдениям достигало более 80 %. При регулярной работе технология SCR снижает выбросы NO_x с 1000 – 1600 мг/нм^3 в исходном газе до 400 – 550 мг/нм^3. При молярном соотношении 0,8-0,9 потребление NH_3 ниже, чем при использовании некаталитической технологии снижения выбросов. Следует отметить, что NH_3 из сырьевых материалов служит также восстанавливающим реагентом в реакторе, так что выбросы остаточного аммиака очень низкие. На этом заводе Германии технология SCR обычно приводит к выбросам NH_3 ниже 1 мг/нм^3 при уровне выбросов NO_x 300 мг/нм^3. Эти результаты указывают на высокий потенциал рассматриваемой технологии, особенно если они достигнуты только при использовании трех слоев катализатора и выбросы остаточного NH_3 находятся около 1 мг/нм^3. Более детальное описание этого завода приведено в разделе 4.2.5.

В Италии работает завод с технологией SCR. С 2006 года работает одна печь с производительностью 1720 т/сутки (проектная мощность 2400 т/сутки). Размеры камеры, вме-

щающей модули семи уровней катализаторов, следующие: 4 м в ширину, 6 м в длину и 27 м в высоту, как показано на Рис. 1.66.

Объем каталитической установки – 21 м^3 для каждого уровня, а общий – 63 м^3 для трех уровней с неустановленной дублированной емкостью 42 м^3 для двух дополнительных уровней в случае возрастания производительности печи до 2400 т/сутки. Катализаторы автоматически очищаются сжатым воздухом компрессорной линии с давлением 5 – 6 бар с потреблением энергии 2,5 кВт·ч/т клинкера. После 7000 часов работы не обнаружено падение активности катализатора.

Рис. 1.66 Пример установки SCR [140]

Рис. 1.67 Пример катализатора, используемого в технологии SCR [140]

Рис. 1.68 Пример расположения модуля, используемого в технологии SCR [140]

Раствор аммиака 25 %-ной концентрации используется в качестве восстанавливающего реагента. Его расход изменяется от 30 до 300 литров в час в зависимости от условий работы печи и типа используемого топлива при объемном расходе дымовых газов 110000 м^3/ч. Раствор аммиака впрыскивается в газовый поток после верхнего циклона, где температура держится в пределах 320 – 350 ^{o}C. В течение 10 месяцев работы потребление раствора аммиака было 0,7 – 1 кг/т клинкера при выбросах NO_x менее 450 мг/нм^3 (10 % O_2). Однако испытания на заводе показали, что проектная возможность технологии СКР позволяет снизить выбросы NO_x из дымовой трубы до < 200 мг/нм^3 (при фактическом % O_2). В зависимости от количества NO_x на входе и количества впрыскиваемого NH_3 эффективность снижения NO_x находится в пределах 43 – 95 %. Поправка на 10 % O_2 привела бы к снижению концентрации NO_x. До внедрения SCR технологии количество аммиака в отходящих дымовых газах, привнесенных сырьевыми материалами, судя по замерам, находилось в пределах 50 – 150 мг/нм^3. С момента использования технологии SCR количество выбросов NH_3 стало меньше 1 мг/нм^3 при мольном отношении (инжектированный NH_3 : NO_x) меньше единицы. Параметры, выбросы и стоимость технологии SCR, по сообщениям цементных заводов Германии и Италии, использующих эту технологию, представлены в Табл.1.35.

Таблица 1.35. Параметры, выбросы и стоимость технологии каталитического снижения выбросов оксидов азота [85]

Технология	Применяемые печи	Эффективность, %	Выбросы		Стоимость	
			мг/нм^3 (ср. годовые показатели)	кг NO_x/т клинкера	Инвестиции (евро/т клинкера	Эксплуатационная (евро/т клинкера)
SCR	Все	43 – 97	300 – 500 [1)]	0,15 – 1,0	2,5 [2)] 3,2-4,5 [3) 4)]	1,75 – 2 [3)]

[1]результаты пилотных испытаний и длительный период работы демонстрационного завода

[2]Оценка стоимости для полномасштабной установки (печь производительностью 1500 т клинкера в сутки, начальные выбросы 1200 мг/нм^3 и конечные – 200, 500 и 800 мг/нм^3 (среднесуточные показатели)

[3] Стоимости подсчитанные Ассоциацией Цементной промышленности Германии (VDZ), охватывающие эксплуатационные расходы плюс снижение инвестиций полномасштабной установки (печь мощностью 1500 т/сутки, начальные выбросы 1200 мг/нм^3 и конечные – 200, 500 и 800 мг/нм^3)

[4] Повышенные величины принадлежат системе SCR Итальянского цементного завода, где включены 0.9 млн. евро за катализаторные элементы (три слоя модулей на месте и два – в запасе)

Применимость

Рассматриваемая технология была испытана на печи с теплообменником и на пилотной установке полусухого способа (печь Леполь), но, в принципе, применима и на других печах в зависимости от температуры.

Высокий уровень запыленности налагает высокие требования к долговечности катализатора, его конструкции и химического состава. Катализаторы, подобранные для процесса с малой запыленностью газов в других отраслях промышленности, могут быть непригодны для цементного завода с его высокой запыленностью газов. Высокая запыленность газов требует высокой механической прочности катализатора, более широких каталитических возможностей, чем обычно при использовании его в технологии с низкозапыленными газами, чтобы предотвратить его закупорку и потерю активности. Соответствующий химический состав катализатора оценивается по эти трем показателям. К тому же из-за размеров камеры и количества используемых слоев катализатора необходимо иметь достаточное пространство для размещения установки SCR.

В настоящее время нет стандарта на катализатор, который был бы адекватен потребностям цементной промышленности. Различные типы используемых катализаторов все еще подвергаются пробным испытаниям.

Экономика

Результаты использования технологии SCR показали ее стоимость равна 1,25–2,00 евро на тонну в зависимости от размера завода и эффективности снижения NO_x. Технология SCR в отличие от технологии некаталитического снижения выбросов оксидов азота, доминирует по инвестициям, которые в 4 – 9 раз выше инвестиций технологии некаталитического снижения. Использование катализатора увеличивает эксплуатационные расходы. К тому же потребление энергии существенно выше из-за падения давления и необходимости применения сжатого воздуха для чистки катализатора. Удельная стоимость технологии SCR приближается к 1,75 евро на тонну клинкера.

Цементный завод в Слайте, Швеция, выпускал 5800 т клинкера в день по сухому способу на печи с запечным теплообменником и декарбонизатором. В 1993 году начато пилотное опробование SCR технологии с высокозапыленным газом и её сравнение с технологией некаталитического снижения выбросов. Испытания длились около года и оценивалась стоимость двух упоминаемых технологий. При использовании технологии SCR было достигнуто содержание NO_x в отходящих газах менее 200 мг/нм^3. Расчетная инвестиционная стоимость установки SCR была около 11,2 млн. евро и эксплуатационная стоимость 1,3 евро на тонну клинкера, общая стоимость составила 3,2 евро на тонну клинкера. Стоимость сниженного килограмма NO_x для технологии SCR составила 5,5–7,3 евро. Эти показатели были столь велики, что для компании оказались не приемлемыми.

Инвестиционная стоимость установки SCR для печи с теплообменником производительностью 3000 т/сутки клинкера оценивается в 3,5 – 4,5 млн. евро; отмечается, что инвестиционная стоимость является, как известно, только величиной, указанной поставщиком и не включает работы по модернизации завода.

Были выполнены исследования в Австрии, Германии, Голландии и Швеции. Оценочная стоимость применения технологии SCR в цементной промышленности изменяется в широких пределах, также как и эксплуатационные расходы, причем долговечность катализатора является основным фактором, влияющим на эти показатели.

См.также Табл.1.34 и 1.35 в разделе 1.4.5.1 , а также Табл.1.40 в разделе 1.4.8.2, где приведены данные по стоимости технологий.

Движущая сила для внедрения технологии

Требования закона. Реализация SCR технологии может обеспечить большую эффективность снижения NO_x с одновременным снижением выбросов других загрязнителей, например аммиака из сырьевых материалов.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Солнхофер Портландцементверке (Германия), цементный завод Монселис (Италия).

[4, 8, 9, 12, 18, 23, 24, 43, 57, 76, 80, 85, 92, 140, 141, 168, 182]

1.4.5.2 Снижение выбросов SO_2

Первым шагом контроля выбросов SO_2 является оптимизация технических решений по первичным мерам: оптимизация процесса обжига клинкера, включающая стабильную работу печей, однородное распределение нагретого материала в печи, предотвращение восстановительной атмосферы при обжиге, а также выбор сырьевых материалов и топлива с невысоким содержанием сульфатов. Концентрация кислорода на входе материала в печь является решающим фактором связывания SO_2 сырьевыми материалами. Увеличение содержания кислорода в длинных печах снижает количество выбросов SO_2 и увеличивает количество NO_x. Однако для достижения качества продукции требуется поддерживать избыток кислорода при обжиге клинкера. Поэтому в системе всегда имеется достаточный приток кислорода, чтобы обеспечить образование сульфатов в нижней части циклонного теплообменника или в камере горячих газов колосникового подогревателя печи Леполь, которые выходят из печи совместно с клинкером. Баланс для защиты окружающей среды должен быть найден оптимизацией соотношения выбрасываемых NO_x/ SO_2/CO путем регулирования содержания кислорода. Для этого существующие технические решения недостаточны, использовать дополнительные технические решения. Табл. 1.36 и 1.37 дают обзор технических решений, которые оказывают положительное влияние на снижение выбросов SO_2 при производстве цемента, главным образом изтеплообменника и байпаса. В Табл. 1.36 приведены суммарные эксплуатационные данные, полезные для всего содержания данного раздела, которые должны рассматриваться совместно с соответствующими параграфами следующего раздела (см. разделы 1.4.5.2.1 – 1.4.5.2.3). В этом контексте, следовало бы отметить, что когда в цементной печи сжигаются отходы, процесс должен соответствовать требованиям директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

Таблица 1.36 Обзор технологий контроля и снижения SO_2

Технические решения	Применяемые печи	Эффективность снижения	Выбросы		Стоимость	
			мг/нм^3 1)	кг/т 2)	Инвестиции (млн. евро)	Эксплуатация (евро/т)
Добавка адсорбента	Все	60 – 80 %	< 200 – 400 5)	0,23 – 0,92	0,2 – 0,3	0,1 – 0,4
Мокрый скруббер	Все	> 90 %	10 – 300 4)	0,02 – 0,69	5,8 – 23 6)	0,5 – 2 6)

1)среднесуточная величина, сухой газ, 273 Кб 101.3 кПа, 10 %O_2

2)кг/т клинкера: на основе 2300 м^3/т клинкера

3) стоимость включает также процесс SNCR, печь производительностью 2000 т клинкера в сутки и начальные выбросы SO_2 50 – 600 мг/ нм^3 данные стоимости 2007 года

4) конечное значение выбросов зависит от начального содержания SO_2 перед установкой мокрого скруббера и может быть выше

5) для начального уровня SO_2 1200 мг/ нм^3 (см. раздел 1.4.5.2.1)

Табл. 1.37 представляет число полномасштабных установок, известных в странах Европейского Сообщества, использующих технические решения по снижению выбросов SO_2 в 2008 году.

Таблица 1.37. Технология снижения SO_2, используемая в странах ЕС [73, 182]

Технические решения для снижения/контроля выбросов SO_2				
Страна		Добавка абсорбента	Мокрый скруббер	Активированный уголь
Бельгия	BE	2		
Болгария	BG			
Чехия	CZ	1		
Дания	DK		2	
Германия	DE	11		
Эстония	EE			
Греция	EL			
Испания	ES			
Франция	FR	1		
Ирландия	IE			
Италия	IT			
Кипр	CY			
Латвия	LV			
Литва	LT			
Люксембург	LU			
Венгрия	HU			
Мальта	MT			
Нидерланды	NL			
Австрия	AT	1	2	
Польша	PL			
Португалия	PT	3		
Румыния	Ro			
Словения	Sl		1	
Словакия	SK			
Финляндия	Fl			
Швеция	SE		1	
Соединенное Королевство	UK		2	
Норвегия	NO			
Швейцария	CH	1	1	1
Турция	TR			
Всего:		23	8	1

В Европейской цементной промышленности не используются ни полумокрый, ни сухой скрубберы. Принципом этих технологий является нейтрализация SO_2 отходящих газов путем впрыскивания химических или физических сорбентов. Продуктами реакции являются растворенные или сухие соли, являющиеся отходами технологии. В Унтервазе, Швейцария, в 2003 году только один завод в Европе имел установку сухого скруббера с циркулирующим ожиженным слоем, но она была остановлена по экономическим и техническим причинам.

1.4.5.2.1 Добавление абсорбента

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Вторичными техническими решениями по контролю выбросов диоксида в цементной промышленности являются добавка гидратной извести – так называемой «сухая добавка» (добавление сорбента к сырьевому материалу) или «процесс сухой сорбции» (сорбент инжектируется в газовый поток. Добавление гидратной извести имеет дополнительные преимущества в том, что кальцийсодержащие добавки образуют продукты, которые могут непосредственно участвовать в процессе обжига клинкера.

Оптимальная температура для добавления гидратной извести находится в пределах 350 – 450 ^oC и ниже 150 ^oC, если газ содержит повышенное количество влаги. Наиболее удобным местом подачи гидратной извести в цементную печь является верхний циклон теплообменника или газоход отходящих газов.

В качестве альтернативы может рассматриваться процесс, когда гидратная известь подается в сырьевую мельницу совместно с сырьевыми компонентами или добавляется в питатель печи. Гидратная или гашеная известь ($Ca(OH)_2$), быстрообожженная негашеная известь (CaO) или активированная зола-унос с высоким содержанием CaO инжектируются в отходящие газы при температуре, близкой к точке росы, что обеспечивает более предпочтительные условия для связывания SO_2. В цементной печной системе эта температура наиболее характерна для участка между сырьевой мельницей и пылеосадителем. Гидратная известь реагирует с SO_2 в верхнем циклоне и выносится в виде пыли в систему пылеулавливания, откуда возвращается в установку для одновременной сушки и помола сырья. Факторами, ограничивающими эффективность снижение выбросов, являются малое время пребывания газа в верхнем циклоне (примерно две секунды) и высокое, более 30 %. содержание CO_2 в отходящих газах.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Интенсивная инжекция извести влияет на качество сырьевой смеси.

Эксплуатационные данные

Степень снижения SO_2 добавкой гидратной извести определяется уровнем начального содержания SO_2 и характеристиками отходящих газов с одной стороны и концентрацией серы в процессе цикличного кругооборота, характерном для конкретного завода с другой стороны. Снижение SO_2 на 60 – 80 % может быть достигнуто инжекцией абсорбента в циклонный теплообменник. При начальном уровне SO_2 выше 400 мг/Ннм^3 теоретически возможно достичь уровня выбросов в 100 мг/нм^3. При начальной величине SO_2 в пределах 1200 мг/нм^3 требуется значительное количество адсорбента, что повышает стоимость процесса. Более того, высокая начальная концентрации серы приводит к нарушению процесса из-за образования отложений в области обжига. Поэтому при применении этой технологии может появиться риск кругооборота и циркуляции серы и связанная с этим нестабильность работы печи при высоком уровне серы, возвращаемой в печь.

Применимость

Добавка адсорбента, в принципе, применима для всех печей, хотя в основном используется в печах с запечными теплообменниками. Имеется одна длинная печь мокрого способа производства, в которую подается сухой $NaHCO_3$ в отходящие газы до электрофильтра для снижения выбросов SO_2. Добавка извести в сырьевые материалы снижает качество грануляции материала и создает проблемы его продвижения в печах Леполь.

Сухой сорбционный процесс (инжекция абсорбента в газовую струю) может применяться в сухой или мокрой разновидности. Для печей с теплообменниками было обнаружено, что прямое впрыскивание гидратной извести в отходящие газы менее эффективно, чем ее добавление к печному питанию. SO_2 будет реагировать с известью с образованием $CaSO_3$ и $CaSO_4$, которые затем поступают в печь совместно с сырьевым материалом и переходят в клинкер. Эта технология пригодна для очистки газов со умеренной начальной концентрацией SO_2 и может быть применена для температур более 400 ^oC. Более высокое снижение может быть достигнуто при температуре выше 600 ^oC. Рекомендуется применять адсорбент на основе $Ca(OH)_2$ с высокими удельной поверхностью и пористостью. Гидратная известь обладает невысокой реакционной способностью, поэтому используется мольное отношение $Ca(OH)_2/SO_2$ в пределах 3 – 6. Газовый поток с высокой концентрацией SO_2 требует большего количества абсорбента – примерно в 6 – 7 раз выше стехиометрического, что предопределяет высокие эксплуатационные расходы.

Экономика

Добавка абсорбента используется на некоторых заводах для гарантии отсутствия превышения установленных лимитов по выбросам в пиковой ситуации. Это означает, что добавка при нормальной работе печи не применяется, а используется только когда возни-

кают специальные обстоятельства. С начальной концентрацией SO_2 около 3000 мг/нм^3,снижением уровня выбросов на 65 % и стоимостью гидратной извести 85 евро за одну тонну инвестиционная стоимость установки для печи с теплообменником производительностью по клинкеру 3000 т/сутки находится на уровне 0,2 – 0,3 млн. евро, а эксплуатационные расходы составляют около 0,1 – 0,4 евро на тонну клинкера.

См. также Табл.1.36 и раздел 1.4.8.3, где приведены примеры стоимости.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы Европейского Сообщества

[8, 9, 12, 30, 76, 101, 168].

1.4.5.2.2 Мокрый скруббер

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Мокрый скруббер – это традиционно применяемая технология для десульфуризации газов на тепловых электростанциях, работающих на угле. Для снижения выбросов SO_2 при производстве цемента технология мокрого скруббера находится на стадии разработки процесса. Технология мокрого скруббера основана на следующей химической реакции:

$$SO_2 + ½\ O_2 + 2H_2O + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4{\bullet}2H_2O + CO_2$$

SO_2 абсорбируется жидким шламом, который распыляется в распылительной башне. В качестве абсорбента используется карбонат кальция. Система мокрого скруббера обеспечивает высокую эффективность улавливания водорастворимых кислых газов, включая их десульфуризацию (FGD-процесс) с наименьшим количеством твердых отходов. Мокрый скруббер также значительно снижает выбросы HCl, пыли и, в несколько меньшей степени, выбросы металлов и NH_3. Основной принцип работы системы мокрого скруббера показан на Рис.1.69.

В Европейской цементной промышленности в 2008 году используется семь мокрых скрубберов, и планируется установка еще одного. Все они сконструированы в виде распылительных башен. Шлам распыляется в противотоке к отходящим газам и собирается в рециркуляционный резервуар на дне скруббера, где образуется сульфит, который в результате окисления воздухом переходит в сульфат и образует двуводный сульфат кальция. Он отделяется и в зависимости от физико-механических свойств гипса этот материал может быть использован при помоле цемента, а вода возвращается в скруббер.

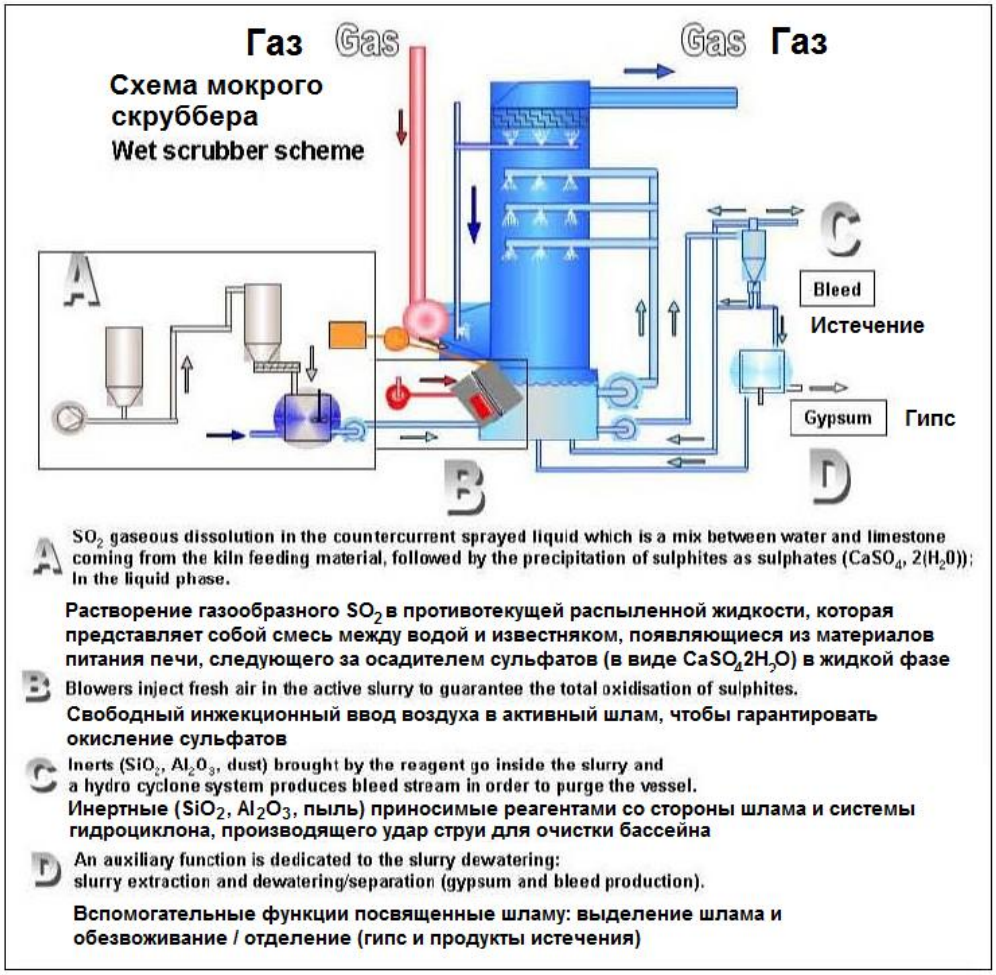

Рис. 1.69 Схема действующего мокрого скруббера

В сравнении с сухим скруббером мокрый процесс сохраняет ресурсы природного гипса. В Унтервазе, Швейцария, установка, представляющая собой сухой скруббер, была выведена из эксплуатации по экономическим и техническим причинам. Обычно при производстве цемента или десульфуризации газа с использованием мокрого скруббера, целью не является накопление пылевидных отходов. В мокром процессе десульфуризации образуется $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, который заменяет природный гипс и в целом является модифицирующим реагентом в цементе. В сухом/полусухом процессах десульфуризации образуется большое количество полуводного $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, который ухудшает качество цемента и поэтому возможности его использования ограничены. В основном, продукт, получаемый в сухом скруббере, возвращается в печь или выбрасывается.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Увеличение потребления энергии.

Увеличение отходов производства при десульфуризации газов, при обслуживании установки могут образоваться дополнительные отходы.

Увеличение выбросов CO_2 (см. химическую реакцию, приведенную выше).

Увеличение потребления воды и увеличение риска загрязнения воды.

Увеличение эксплуатационных расходов.

Замена природного гипса искусственным гипсом (FGD-гипс).

Эксплуатационные данные

Снижение выбросов SO_2 может достигать более 95 %. На заводе «Семент АВ» в Швеции при работе печи с теплообменником производительностью 5800 т/сутки и начальной концентрации SO_2 в отходящих газах в пределах 800 – 1000 мг/нм^3 были достигнуты показа-

тели выбросов менее 10 мг/нм^3. Завод Кастл Цемент в Соединенном Королевстве имеет печь с теплообменником производительностью по клинкеру 2500 т/сутки, а среднесуточная начальная концентрация SO_2 в отходящих газах составляет 800 – 1400 мг/нм^3, иногда увеличиваясь до 2000 мг/нм^3. Среднегодовые выбросы SO_2 при использовании данной технологии в период 2002 – 2006 годы составили 207 мг/нм^3, при этом максимальная среднесуточная величина колебалась от 248 до 296 мг/нм^3 из-за высокого содержания серы в сырьевых материалах.

Применимость

Мокрый скруббер пригоден для всех типов печей с соответствующей достаточно высокой величиной выбросов SO_2, обеспечивающей производство гипса.

Экономика

В 2008 году капитальные расходы по установке мокрого скруббера на предприятии Кастл Цемент Соединенного Королевства были оценены поставщиком в 23 млн. евро с учетом инфляции. В 2000 году инвестиционная стоимость мокрого скруберра для Кастл Цемента (включая модификацию завода) составляла, как сообщалось, 7 млн. евро и эксплуатационные расходы находились на уровне 0,9 евро на тонну клинкера. В 1998 году для предприятия «Цемент АВ» в Швеции инвестиционная стоимость строительства мокрого скруббера составила около 10 млн. евро и эксплуатационные расходы составляли 0,5 евро на тонну клинкера. В конце 1990-х годах инвестиционная стоимость установки для печи производительностью 3000 т/сутки при начальной концентрации SO_2 до 3000 мг/нм^3 колебалась от 6 до 10 млн. евро, а эксплуатационные расходы составляли 0,5 – 1,0 евро на одну тонну клинкера. В 1998 году на цементном заводе в Австрии инвестиционная стоимость мокрого скруббера (снижение выбросов SO_2 ниже 200 мг/нм^3) равнялась 5,8 млн. евро и до 2008 года ежегодные эксплуатационные расходы составляли 140000 евро. В 2008 году по данным Европейской цементной промышленности инвестиционная стоимость при внедрении данной технологии колебалась от 6 до 30 млн. евро, а эксплуатационные расходы – в пределах 1 – 2 евро на тонну клинкера.

Примеры данных по стоимости различных установок, рассчитанные для завода производительностью 1100 т/сутки, можно найти в Табл. 1.41 раздела 1.4.8.3.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные требования.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Заводы «Цемента АВ» (Швеция), Кастл Цемент и Дунбар (Соединенное Королевство), Ретзней (Лафарж, Австрия), Требовлие (Словения), Унтерваз (Швейцария).

[8, 9, 10, 11, 24, 81, 86, 92, 103, 114, 132, 168, 175, 182, 183]

1.4.5.2.3 Использование активированного угля

Описание и достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Такие загрязнения, как SO_2, органические соединения, металлы, NH_3, соли аммония, HCl, HF и остаточная пыль после электрофильтра или рукавного фильтра могут быть удалены из отходящих газов адсорбцией на активированного угле. Фильтр из активированного угля используется в виде технологии инжекции или в виде конструкции из плотного слоя с модульными стеновыми перегородками. Модульная конструкция позволяет адаптировать размеры фильтра к различным установкам, через которые проходит газ, и к производительности печи. Использованный активированный уголь периодически удаляется в отдельный силос и заменяется свежим адсорбентом. При использовании отработанного активированного угля в качестве топлива в печи улавливаемые вещества возвращаются в систему и в большом количестве фиксируются в цементном клинкере.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Отходы активированного угля считаются вредными отходами.

Эксплуатационные данные

В Европейской цементной промышленности в настоящее время имеется только одна установка адсорбера с активным углем на заводе Сиггенталь, Швейцария. На этом предприятии печь производительностью по клинкеру 2000 т/сутки снабжена четырехциклонным теплообменником. Измерения показали высокую эффективность улавливания SO_2, металлов и ПХДД и ПХДФ. В течение 100 суток испытаний концентрация SO_2 на входе в адсорбер изменялась от 50 до 600 мг/нм^3, а на выходе из него не превышала 50 мг/нм^3. Концентрация пыли упала с 30 мг/нм^3 до менее 10 мг/нм^3.

Применимость

Фильтр на основе активированного угля может быть применен для всех печей сухого способа производства. Использованный активированный уголь, содержащий ПХДД/ПХДФ и другие загрязнители типа ртути относятся к вредным отходам. Контроль температуры и количества CO являются особенно важными для данного процесса для предотвращения возгорание угля в фильтре.

Экономика

Завод Сиггенталь имеет также установку для селективного некаталитического восстановления оксидов азота и в 1999 году на эти установки город Цюрих финансировал около 30 % общих инвестиционных затрат, то есть примерно 15 млн. евро. Инвестиции в данные системы позволили заводу использовать осадки сточный вод в качестве топлива.

Эксплуатационные расходы могут увеличиться.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Завод Сиггенталь, Швейцария

[9, 10, 12, 86, 168, 182].

1.4.5.3 Снижение выбросов оксида углерода и проскоков CO

Описание

Отходящие печные газы или газы, выходящие из сырьевых мельниц, содержат, кроме CO_2, N_2, паров воды и кислорода, в несколько меньшем количестве NO и SO_2, а также CO.

Выбор, когда это возможно, сырьевых материалов с низким содержанием органического вещества снижает выбросы CO. Когда в результате неполного сгорания топлива появляется оксид углерода, улавливание выбросов становится менее эффективным. Поэтому при работе установки соблюдается тенденция ограничения выделения CO из печи. Улучшение сжигания, оптимизация и качество топлива, характеристики горелки и ее конфигурация, конструкция печи, температура горения и время пребывания топлива в печи – все это может снизить выбросы CO.

Все технические решения, которые приводят к снижению потребление топлива, также уменьшают количество выбросов CO_2. Выбор, при возможности, сырьевых материалов с низким содержанием органического вещества и топлива с низким отношением количества углерода и величины его калорийности снижает выбросы CO_2.

Проскок CO

Выделения пыли из-за проскока CO могут увеличиваться при использовании электрофильтров, и, в некоторых случаях, гибридных фильтров. Из соображений безопасности электрофильтры должны быть выключены при появлении CO в отходящих газах.

Чтобы снизить время отключения электрофильтра, необходимо выполнить следующие мероприятия:

- дать объективную оценку ситуации и выявить основные причины, влияющие на появление CO, а именно:
  - нарушение режима обжига;
  - высокий уровень CO из-за высокого содержания органических соединений в сырьевом материале;
  - нарушения в питании печи топливом;
  - нарушения процесса сжигания топлива.
- сравнить текущую и оптимальную ситуацию, установить приоритеты;
- оптимизировать процесс, обеспечить анализ системы, надежности и скорости технических решений.

Чтобы идентифицировать причины и направление действия, а также разработать необходимые технические решения, требуется следующая информация,:

- информация о наличие, надежности и динамики поведения анализируемого оборудования;
- информация о статистике появления CO;
- информация об используемом топливе, системы подачи топлива и процессе.

Система питания топливом, спроектированная для предотвращения волнообразной подачи в печь и обеспечения стабильной работы системы сжигания, может минимизировать появление проскоков CO.

Для того, чтобы контролировать уровень CO в печи, используется автоматический измеритель для постоянного контроля CO в отходящих газах. Это техническое решение нуждается в оптимизации для того, чтобы обеспечить необходимое отключение электрофильтров. Идеальная система контроля CO имеет короткое время отклика и должна быть расположена близко к источникам выделения CO, таких как выход из циклонного теплообменника или из печи в случае применения мокрого способа производства. Необходимо учитывать время на анализ, включая время отбора пробы. Идеально это время не должно превышать 20 – 30 сек (время запаздывания анализа). Для сокращения времени отключения электрофильтра необходимо учитывать тенденции изменения CO на основе ранее полученной, накопленной и проанализированной информации.

Время запаздывания при контроле CO может быть снижено увеличением количества образцов, сокращением расстояния от точки отбора пробы до анализатора, снижением объема анализируемой пробы и быстрым электронным описанием сигнала. Быстрое определение состояния системы можно обеспечить в течение менее 3 секунд, но имеется ограничение для газов с большим количеством пыли. Необходимы также постоянный уход и калибровка режима работы прибора. Возможность анализатора такова, что имеется соответствующий критический диапазон показаний, при котором можно определять компоненты: до 5 % для CO и 3% для CH_4.

Если появление CO не может быть предотвращено, любые воспламеняющиеся источники, особенно оборудование с высоким напряжением (электрофильтры) требуют специального внимания. Другим источником, который потенциально может привести к возгоранию или взрыву в системе пылеочистки, может быть трение твердых тел или вентилятор. Критическими параметрами считаются присутствие в газах более 8 % CO или CH_4 в присутствии более 6 % O_2. Фактически при проскоке CO рост его концентрации в газах происходит очень быстро и может достичь критического значения еще до осуществления анализа, хотя и в этом случае система должна поднять тревогу. Поэтому уровень срабатывания системы отключения и сигнализации должен быть настроен значительно ниже кри-

тического; в добавок он зависит от концентрации CH_4 и H_2, особенно при использовании природного газа в качестве топлива.

Отключение электрофильтров происходят в основном на стадии пуска – остановки печи. Для безопасной работы и защиты электрофильтра газоанализатор должен работать постоянно на всех стадиях процесса. Время отключения электрофильтра на заводе может быть снижено использованием дублирующей системы.

Достигнутые эффекты по защите окружающей среды

Снижение риска взрыва, проскока CO, выбросов CO и пыли.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Выбросы пыли могут появиться из-за проскока CO.

Эксплуатационные данные

CO может быть обнаружено в проходящих газах при концентрации до 0,1 % с дополнительным количеством CO, порождаемым углеродом, содержащимся в сырьевых материалах.

Было сообщено, что при постоянных измерениях среднегодовая величина выбросов CO находятся в пределах от 200 до 2200 мг/нм^3 (см. Рис.1.34 в разделе 1.3.4.4.2).

Проскок CO может появиться в течение нескольких минут и даже секунд, быстро достигая величины ограничения (см. разделы 1.3.4.1.1 и 1.4.4.3.1). Частота появления CO может быть минимизирована и было сообщено, что эта величина находится в пределах менее 0,001 – 0,009 % от всего времени работы печи, при этом отбор проб производился каждые 1 – 29 минут (см. раздел 1.3.4.1.1) [158].

Пример первичных технических решений, которые могут быть использованы для предотвращения проскока CO в электрофильтре, описывается в Табл.1.38. Стандартный этап действия может первоначально включать снижение питания топлива и высокого уровня напряжения. Затем система нуждается в очистке действующим вентилятором. Время необходимой очистки может быть определено таким же способом, как и время простоя.

Таблица 1.38 Пример первичных технических решений для предотвращения проскока CO

Первичные технические решения для предотвращения проскока CO		
Точка измерения	Концентрация CO (%)	Меры
В башне теплообменника	0,5	Тревога, отключение декарбонизатора
	1,2	Отключение главной системы горения
	2,5	Отключение высокого напряжения электрофильтра
После башни теплообменника	0,5	Тревога, отключение декарбонизатора
	0,8	Отключение главной системы горения
	1,5	Отключение высокого напряжения электрофильтра
	0,5	Запуск оборудования высокого напряжения электрофильтра.

Применимость

Технические решения для снижения проскоков CO могут применяться на всех типах печей.

Надежность эксплуатации фильтров может быть повышена применением приборов автоматического определения количества CO для постоянного контроля проходящих газов на печи с вторичным сжиганием топлива и автоматическим отключением системы сжигания в период проскока CO.

Использование различного топлива, особенно твердого топлива, может привести к нестабильной работе системы горения и может вызвать проскок CO. Система питания топли-

вом должна быть спроектирована так, чтобы предотвратить волнообразную подачу топлива в печь в любое время. Способность к транспортировке твердого топлива является одним из важнейших факторов, необходимо тщательно контролировать его, чтобы предотвратить блокировку при приготовлении топлива и питании печи.

Рукавные фильтры

Рукавные фильтры, работающие в условиях сверхкритической атмосферы, могут также иметь проблемы. Поэтому уровень CO и при использовании таких фильтров должен поддерживаться как можно ниже. Как и при работе с электрофильтрами, дополнительные компоненты (CH_4 и H_2) будут снижать критический уровень для CO; если углеводород присутствует в количестве около 2 %, критический уровень снижается примерно на 5 %.

Специфическими потенциальными источниками возгорания при использовании рукавного фильтра могут быть статическое напряжение, обусловленное трением искусственного волокна или в случае гибридных фильтров (объединение электрофильтра с рукавным фильтром), накопление пыли, несущей электростатический заряд, в рукавах. Чтобы предотвратить инциденты, особенно в угольных мельницах, рукава фильтра дублируются стальной сеткой или специальной тканью с проводящей поверхностью, которая затем заземляется. Подобным образом для гибридных пылеуловителей рекомендуется заземлять фильтровальные мешки, устройства их подвески и корпус фильтра. Чистка угольных мельниц производится предпочтительно путем пропускания инертного газа, такого как печные газы, CO_2 или N_2.

Экономика

Нет данных

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества

Руководящие указания по контролю выбросов CO (см. раздел 4.2.6).

[83, 60, 158, 168, 182].

1.4.5.4 Снижение выбросов органических соединений

Описание и достигнутые эффекты по охране окружающей среды

При нормальных обстоятельствах выбросы летучих органических соединений в основном небольшие, но могут повыситься в связи с наличием их в сырьевых материалах, используемых на заводе. Природные сырьевые материалы или отходы с высоким содержанием летучих органических соединений по возможности не выбираются, но если при использовании они подаются в печь как обычно через питатели, то топливо с высоким содержанием галогенов не должно использоваться как вторичное топливо.

Если концентрация летучих органических соединений окажется высокой, должна быть применена технология адсорбции активированным углем как это описано в других разделах.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных

Эксплуатационные данные

Сообщалось, что среднегодовая величина выбросов общих органических соединений на Европейских цементных печах находятся в пределах от 1 до 40 мг/нм^3, но может быть выше в зависимости от характеристики сырьевых материалов (см. раздел 1.3.4.5).

Сжигание отходов должно соответствовать требованиям Директивы по сжиганию отходов [59].

Применимость

Технические решения применимы ко всем цементным печам.

Экономика

Нет данных

Движущая сила внедрения технологии

Требования законодательства

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества

[9, 59, 76, 97, 168, 182].

1.4.5.5 Снижение выбросов хлорида водорода (HCl) и фторида водорода (HF)

Описание и достигнутые эффекты по охране окружающей среды

Использование сырьевых материалов и топлива, содержащих небольшое количество хлора и фтора, могут снизить уровень их выбросов (см. также разделы 1.4.3.2 и 1.4.3.3). К тому же инжекция адсорбента или применение скруббера могут также повлиять на выбросы HCl и HF.

Соединения хлора конденсируются на питании печи или на печной пыли при температуре между 700 – 900 ^{o}C. Они демонстрируют цикличный кругооборот и их количество может увеличиться в зоне между вращающейся печью и теплообменником. Использование байпаса на входе в печь позволяет эффективно снизить количество щелочных хлоридов.

От 90 до 95 % фтора, который присутствует во вращающейся печи, связывается в клинкер, а остальное количество включается в пыль в форме фторида кальция (CaF_2), который стабилен в условиях обжига.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Использование системы байпаса (удаление части горячего материала и горячего газа) ведет к повышению удельного потребления энергии (см. раздел 1.4.2.1.4) и увеличению количества выбрасываемых отходов производства.

Эксплуатационные данные

Сообщалось, что по уровню выбросов HCl были достигнуты среднегодовые показатели от 0 до 8 мг/нм^3 в зависимости от содержания хлора в сырьевых материалах и топливе (см. раздел 1.3.4.8.1).

Наилучшим среднегодовым показателем выбросов фторидов из печей является величина ниже 0,6 мг/нм^3 в пересчете на HF (см. раздел 1.3.4.8.2).

При сжигании отходов в печи необходимо учитывать требования Директивы по сжиганию отходов [59].

Применимость

Эти технические решения, в принципе, применимы к цементной промышленности.

Экономика

Нет данных.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран Европейского Сообщества.

[59, 76, 97, 168, 182].

1.4.6 Снижение выбросов полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ)

Описание и достигнутые эффекты по охране окружающей среды

Цементные печи обычно выбрасывают небольшие количества ПХДД и ПХДФ; тем не менее, применяются первичные технические решения для их минимизации, такие как:

- равномерный и стабильный режим работы печи, что является полезным для всех видов печных выбросов, так же как и для использования энергии. Это может быть достигнуто применением:
  - оптимизированной системы контроля технологического процесса, включая систему, основанную на компьютерном автоматическом контроле;
  - современной системы подачи топлива.
- минимизация использования топливной энергии путем:
  - подогрева и декарбонизации, принимая во внимание конфигурацию существующей печи.
- внимательный выбор и контроль материалов, поступающих в печь:
  - выбор и использование гомогенизации сырьевых материалов и топлива с низким содержанием серы, азота, хлора, металлов и летучих органических соединений, если осуществимо.

Чтобы минимизировать возможное преобразование ПХДД и ПХДФ, очень важным является применение следующих первичных технических решений:

- быстрое охлаждение печных отходящих газов ниже 200 ^{o}C в длинных печах мокрого и сухого способов производства, работающих без подогревателя. В современных печах с теплообменниками и декарбонизатором эта особенность уже осуществлена;
- ограничивать или предотвращение использования отходов в качестве сырьевого материала, если они содержат органические хлорсодержащие соединения,
- не использовать топливные отходы в период пуска-остановки печи,
- контроль и стабилизация критических параметров процесса, то есть контроль за однородностью сырьевой смеси, топливного питания, правильного их дозирования и избытка кислорода [86, 88],
- топливо, содержащее повышенное количество галогенов, не должно использоваться для вторичного сжигания.

Если концентрация ПХДД и ПХДФ повысится, может быть применен метод адсорбции на активированном угле, как это делается в других случаях.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Использование системы увлажнения и охлаждения отходящих газов, которые состоят из установки разбрызгивания воды в дымоходе, может повлиять на энергетическую эффективность процесса.

Эксплуатационные данные

Большинство цементных печей имеет дело с выбросами на уровне 0,1 нг I-TEQ/нм^3 , если применяются первичные технические решения [88]. В 2004 году точечные измерения показали, что большое количество печей в странах Европейского Сообщества достигли выбросов на уровне < 0,03 – 0,05 нг I-TEQ/нм^3, применяя первичные технические решения

(см. Рис. 1.39 в разделе 1.3.4.6). К тому же среднегодовой уровень выбросов, равный менее 0,03 нг I-TEQ/нм^3 был достигнут многими заводами (см. Рис. 1.38 в разделе 1.3.4.6).

Применимость

Первичные технические решения применимы к цементным печам. В печах мокрого способа контроль условий работы после печи может минимизировать выбросы ПХДД и ПХДФ

Экономика

Нет данных.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Местные условия.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Заводы 27 стран Европейского Сообщества.

[86, 88, 168, 182]

1.4.7 Снижение выбросов металлов

Описание и достигнутые эффекты по охране окружающей среды

Необходимо избегать применения материалов с большим содержанием летучих металлов для питания печи. Материалы, содержащие ртуть или таллий, должны контролироваться особенно тщательно, потому что они приведут к большому количеству выбросов, в то время как другие металлы будут фиксироваться в клинкере и в пыли. Внимательный подбор с гарантированными характеристиками веществ, поступающих в печь, может снизить количество выбросов, например, при использование системы гарантии качества отходов (см. разделы 1.4.3.2 и 1.4.3.3).

Накопление металлов, особенно таллия, во внутренних и наружных циклах кругооборота в печной системе приводят к повышению количества выбросов с увеличением времени работы печи. Это может быть снижено частично или полностью прерыванием циклов. Наличие прямой взаимосвязи между внутренними и внешними циклами означает, что достаточно прерывать только наружные циклы. Это может быть сделано сбросом накопленной в пыленакопителе пыли вместо ее возврата в сырьевую смесь. Когда химический состав выбрасываемой пыли приемлем, она может быть добавлена к цементу при его помоле [27].

Так как летучие металлы (кроме части ртути), обычно связываются пылью, стратегия уменьшения выбросов металлов напрямую связана со стратегией уменьшения выбросов пыли. Эффективное возвращение пыли снижает выбросы металлов. Минимизация выбросов ртути обеспечивается снижением температуры отходящих газов. Нелетучие элементы остаются в процессе и существуют в печи как составляющая часть цементного клинкера. Когда обнаруживается высокая концентрация летучих металлов (особенно ртути), содержание летучих металлов в материалах минимизируется, необходимо ограничить подачу этих веществ в печь (разделы 1.3.4.13, 1.4.3.2 и 1.4.3.3).

Для борьбы с выбросами металлов применяется абсорбция на активированном угле. Полулетучие металлы конденсируются в виде тончайших аэрозолей и также адсорбируются, однако при этом эффективность поглощения материала ниже, чем для нелетучих металлов. Когда нелетучие металлы попадают в печную систему, они продвигаются по печи и, в конце концов, связываются в клинкер (см. раздел 1.3.4.7).

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Эффективный возврат пыли в производство также снижает выбросы металлов.

Эксплуатационные данные и применимость

При использовании инжекции порошкообразного активированного угля ртуть адсорбируется на нем. Эффективность возврата ртути (металлической и в виде ионов) около 85 – 90 %. При использовании указанного технического решения выбросы ртути составляют 0,01 – 0,03 мг/нм^3. Однако промышленного способа улавливания ртути пока не предложено.

Статический фильтр на основе активированного угля или кокса для адсорбции ртути совместно с ПХДД и ПХДФ, представляет собой плиту с модульными перегородками. Использование такого технического решения приводит к снижению выбросов ртути ниже 0,03 мг/нм^3. Когда фильтр насыщается выбросами, он заменяется на новый. Использованный активированный уголь, содержащий ПХДД и ПХДФ и другие загрязнители типа ртути, является вредными отходами и обращаться с ним надо в соответствии с установленными правилами [86, EURITS, 2006].

В настоящее время на цементных заводах спользуется только один фильтр из активированного угля в странах ЕС, в Сиггентале, Швейцария (см. раздел 1.4.5.2.3).

Выбросы ртути в количестве менее 0,01– 0,05 мг/нм^3 были достигнуты и без активированного угля, как показано на Рис. 1.46 (точки измерения) и на Рис. 1.47 (среднегодовая величина (см. раздел 1.3.4.7.1).

При сжигании отходов необходимо выполнять требования Директивы по сжиганию отходов [59].

Экономика

Обеспечение требуемого качества и гарантированных характеристик материалов, подаваемых в печь, приводит к дополнительному удорожанию процесса.

Эффективный возврат пыли в производство может предотвратить повышение стоимости фильтров из активированного угля.

Расходы Сиггентальского завода в Швейцарии был финансированы городом Цюрих в размере 30 % от всей инвестиционной стоимости около 15 млн. евро.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Сиггенталь, Швейцария.

[27, 59, 86, 168, 182].

1.4.8 Примеры стоимости технических решений для очистки отходящих газов и первичные технические решения, используемые для снижения выбросов

1.4.8.1 Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов пыли

Табл. 1.39 приводит калькуляции технических решений для снижения выбросов пыли. Различные технические решения принимались во внимание для исследования: электрофильтры и рукавные фильтры. Различные эксплуатационные расходы включают стоимость электричества, трудовые затраты, стоимость удаления пыли. Основные характеристики для различных рукавных фильтров и их стоимость можно найти в разделе 1.4.4.3.2, где в Табл.1.32 показаны технические характеристики применяемых волокон. В ней приведена информация за 2003 год, включая стоимость энергии и зарплату. Следует отметить, что в Табл.1.32 нет данных по стоимости замены фильтрующих рукавов в рукавных фильтрах.

Таблица 1.39. Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов пыли [9, 76, 100, 102, 103, 168, 182]

Инвестиции и стоимости технических решений по снижению выбросов пыли					
Параметры	Размерность	Технические решения			
		Электрофильтры		Рукавные фильтры	
1	2	3	4	5	6
Описание установки		I [(0)]	II	I[(0)]	II
Производительность	т кл-ра в сутки	1100	3000	1100	3000
Долговечность	год	35		35	
Рабочее время	ч/год	7680		7680	
Инвестиционная стоимость	тыс. евро	1500	2100 – 4600 [8)] 4500 – 6000 [9)]	1750	2100 – 6800[10)] 4000 – 8000[11)]
Годовые капитальные затраты	тыс.евро				
Прибыль	%/100/год	4		4	
Время жизни контрольного оборудования	год	10		10	
Общее	тыс.евро	184,94		215,76	
Общее	тыс.евро/т клинкера	5,25E-04		6,13E-04	
Фиксированные эксплуатационные расходы	%/год [2)]	4		4	
Общее	тыс.евро	60		70	
Общее	тыс.евро/т клинкера	1,70E-04		1,99E-04	
Изменения эксплуатационных расходов	тыс.евро/т клинкера	3,15E-04		3,77E-04	
Расходы на тонну клинкера	тыс.евро/т клинкера	1,01E-03		1,19E-03	
Стоимость на тонну сниженных загрязнителей	тыс.евро на тонну				
Фактор, не снижающий выбросы [1)]	т/т клинкера	0,13 56,520 мг/нм^3		0,13 56,520 мг/нм^3	
Фактор, снижающий выбросы [1)]	т/т клинкера	0,000046 20 мг/Нм^3		0,000046 20 мг/Нм^3	
Общее	тыс.евро на тонну	0,008		0,009	
Общие эксплуатационные расходы	евро/тонну клинкера		0,1 – 0,3		0,1 –0,35
Определение изменения эксплуатационных расходов					
Стоимость электричества [4)]					
Дополнительная потребность эл.энергии (λ^e) [5)]	кВт·час/т клинкера	4,15 190 кВт		5,24 240 кВт	
Цена эл.энергии (c^e)	евро/ кВт·час	0,0569		0,0569	
Общая	тыс.евро/т клинкера	2,36E-04		2,98E-04	
Трудовые затраты [6)]					
Трудозатраты (λ^1)	чел-год/т клинкера	2,13E-06		2,13E-06	
Зарплата	тыс.евро/чел-год	37,234		37,234	
Общее	тыс.евро/т клинкера	7,93E-05		7,93E-05	

Стоимость размещения пыли					
Общая	тыс.евро/т клинкера	0		0	
Общие изменения эксплуатационных расходов	тыс.евро/т клинкера	3,15E-04		3,66-04	

[0)] 2000 данных, цементный завод с производительностью 1100 т/с в странах ЕС в 1995 г.
[1)] 10% O_2
[2)] капиталовложения
[3)] распределение: 50% электрофильтра и 50% рукавного фильтра; использование среднего между электрофильтром и рукавным фильтром
[4)] стоимость электричества = $\lambda^e \cdot c^e / 10^3$ (тыс. евро/т)
[5)] дополнительная потребность в эл.энергии= новое общее потребление – старое общее потребление
[6)] стоимость труда = $\lambda^1 \cdot c^1$ (тыс. евро/т)
[7)] стоимость размещения пыли клинкера = $\lambda^d \cdot c^d \cdot ef_{неуменьшенной} \cdot ή/10^3$ (тыс.евро/т)
[8)] 2000 данных, включают величину капиталовложений для башни кондиционирования воздуха после фильтровального вентилятора (0.6-0.8 млн. евро)
[9)] 2006 данных
[10)] включает капиталовложения для башни кондиционирования и вентилятора фильтра (0.6-0.8 млн.евро)
[11)] для эффективности разделения > 99.9 %, зависящей от типа и числа используемых фильтровальных мешков.

1.4.8.2 Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов NO_x

Табл. 1.40 показывает калькуляции стоимости технических решений для снижения выбросов NO_x для завода с производительностью 1100 т/сутки в странах ЕС в ситуации на 1995 год. Исследованы технические решения селективного некаталитического восстановления оксидов азота, селективного каталитического восстановления и первичные технические решения по снижению выбросов NO_x. Изменения эксплуатационных расходов включают стоимость электричества и затраты труда, стоимость аммиака, используемого для технологии некаталитического восстановления оксидов азота, описанной отдельно в пределах таблицы.

Сравнение стоимостей технических решений некаталитического и каталитического восстановления оксидов азота на заводе Германии можно найти в разд. 4.2.4.2 и в Табл.4.26. Инвестиции и эксплуатационных расходы были подсчитаны для различного достигнутого уровня NO_x – от 200 до 500 мг/нм^3. Как видно из Табл. 4.26, эксплуатационная стоимость некаталитического и каталитического восстановления, включая стоимость замены катализатора, примерно такая же при целевом снижении до 500 мг/нм^3, в то время как общая удельная стоимость технологии каталитического восстановления примерно на 50 % выше стоимости технологии некаталитического восстановления оксидов азота. При достижении уровня снижения NO_x 200 мг/нм^3 оказалось, что технология каталитического восстановления более эффективна относительно эксплуатационных расходов, но общая удельная стоимость все еще остается значительной по сравнению со стоимостью технологии некаталитического восстановления [76].

Таблица 1.40 Стоимость технических решений снижения выбросов NO_x [76, 85, 100, 102, 105, 168, 182]

Параметры	Единица измерения	Применяемые методы				
		Первичные технические решения [0)]	Охлаждение пламени [8)]	Постадийное сжигание [7)]	Технология SNCR [9)]	Технология SCR
1	2	3	4	5	6	7
Описание установки						
Производительность	т/сут клинкера	1100	3000	3000	1100	1500 [7)]
Производительность	т/год клинкера	352000			35	

Длительность работы	год	35			35	
Время работы в год	час/год	7680			7680	
Инвестиционная стоимость	млн.евро	0,25	до 0,2	0,1 – 2 [8)] 1 – 4 [9)] 15 – 20 [10)]	0,6	
Удельная инвестиционная стоимость	евро/т клинкера				0,08 – 0,14 [7)]	0,83 – 0,87 [7)]
Ежегодные капитальные вложения	тыс.евро					
Прибыль	%/100/год	4			4	
Длительность работы оборудования контроля	год	8			10	
Всего	тыс.евро	37,13			166,97	
Всего	тыс.евро/т клинкера	1,05E-04	до 2,5E-04		4,74E-04	
Фиксированные эксплуатационные расходы	%/год [2)]	4			4	
Всего	тыс.евро	10			24	
Всего	тыс.евро/т клинкера	2,84E-05			6,82E-05	
Переменные эксплуатационные расходы	тыс.евро/т клинкера	2,64E-05			5,69E-04	
Стоимость на тонну клинкера	тыс.евро/т клинкера	1,60E-04			1,11E-03	
Стоимость на тонну сниженного NO_x [3)]	тыс.евро на тонну сниж.NO_x				330 – 450 [7)]	470 – 540 [7)]
Фактор несниженных выбросов [1)]	тонн NO_x на тонну клинкера	0,00322 1400 мг/нм^3			0,002415 1050 мг/нм^3	
Эффективность снижения [1)]	%	25			62	
Всего	тыс.евро/т сниж.NO_x	0,2			0,74	
Стоимость замены катализатора	Евро на тонну клинкера					0,10 – 0,13 [7)]
Определение изменения эксплуатац. расходов						
Стоимость эл.энергии [3)]						
Дополнительная потребность в эл.энергии (λ^e) [4)]	кВт·ч на тонну клинкера	0,44 20 кВт			0,13 5,96 кВт	
Стоимость эл. энергии (c^e)	евро/кВт·ч	0,0569			0,0569	
Всего	тыс.евро на тонну клин-	2,48E-05			7,40E-06 0,03 –	0,10 – 0,11 [7)]

	кера				0,06 [7]	
Стоимость Аммиака [6]						
Хранение аммиачной воды	млн.евро					
Эффект несниження	тонна загрязнителей на тонну клинк.	–			0,002415	
Мольное отношение NH_3/NO_x		–			1,5	
Удельная потребность NH_3 (λ^s)	т/т удаленного загрязнителя	–			0,89	
Цена NH_3	евро /т	–			0,26 – 0,64 [7] 400	0,13 – 0,26 [7]
Эффективность удаления	%	–			62	
Всего	тыс.евро на тонну клин.	–			5,36E-04	
Стоимость труда [5]						
Трудовые потребности ($\lambda^{1)}$)	чел-год/т клинкера	7,10E-07			7,10E-07	
Зарплата	тыс.евро/ чел-год	37,234			37,234	
Всего	тыс.евро/т клинкера	2,64E-05			2,64E -05	
Всего переменных эксплуатац. расходов	тыс.евро/т	2,48E-05			5,69E-04 0,30 – 0,70 [7]	0,33 – 0,70 [7]
Общая стоимость (инвестиции и эксплуатационные расходы)	евро/т клинкера				0,38 – 0,62 [7] 0,85 [11]	0,83 – 0,87 [7] 2,3 [11]

[0] 2000 данных, завод производительностью 1100 т/сут – средний в странах ЕС
[1] 10 % O_2
[2] капитальные вложения
[3] стоимость эл.энергии $\lambda^e \cdot c^e$ (тыс.евро/т)
[4] дополнительные поребности в эл.энергии = новое общее потребление – старое общее потребление
[5] трудовые затраты = $\lambda^1 \cdot c^1$ (тыс.евро /т)
[6] стоимость аммиака: $\lambda^d \cdot c^d \cdot$ ‘$эф_{несниж} \cdot \eta / 10^3$ (тыс.евро /т)
$Эф_{неснижен}$: фактор несниження выбросов загрязнителей (тонна загрязнителей /т)
λ^d: удельная потребность аммиака (т/т возвращенного аммиака)
c^d: удельная стоимость стоимость размещения пыли
η : эффективность возврата = (1- $эф_{размещенного}$ / $эф_{неразмещенного}$
[7] Германия, зависит от уровня снижения NO_x до 500 или 200 мг/нм^3
[8] печь с декарбонизатором
[9] декарбонизатор и третичная пыль для печи производительностью 3000 т/сут с подогревателем, и колосниковым холодильником при переводе в печь с декарбонизатором
[10] перевод печи с подогревателем и рекуператорным холодильником в печь с декарбонизатором и колосниковым холодильником
[11] Австрия

1.4.8.3 Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов SO_2

Табл.1.41 показывает калькуляции стоимости технических решений для снижения выбросов SO_x завода с производительностью 1100 т/сутки. Исследованы технические решения снижения SO_x методом инжекции адсорбента или использованием мокрого скруббера. Изменения эксплуатационных расходов включают стоимости электричества и затраты

труда, расходы на размещения отходов, стоимость извести, описанные отдельно в пределах настоящей таблицы.

Таблица 1.41. Примеры стоимости технических решений снижения выбросов SO_x [100, 102, 168]

Инвестиции и стоимость технических решений снижения выбросов SO_x			
Показатели установки	**Единицы измерения**	**Технические решения**	
		Инжекция абсорбента	**Мокрый скруббер**
1	2	3	4
Производительность	т/сут клинкера	1100	1100
Производительность	т/год клинкера	35200	35200
Отходящие газы[1)]	нм^3/час		105417
Долговечность	год	35	35
Заводской фактор	час/год	7680	7680
Инвестиционная стоимость	тыс.евро	200	5500
Годовые капитальные вложения	тыс.евро		
Уровень прибыли	%/год	4	4
Жизнеспособность оборудования контроля	год	10	10
Всего	тыс.евро	24,66	678,10
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	7,01E-05	1,93E-04
Фиксируемые эксплуатационные расходы	%/год	4	4
Всего	тыс.евро	8	220
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	2,27E-05	6,26E-04
Изменение эксплуатационных расходов	тыс.евро на тонну клинкера	6,98E-04	6,06E-04
Затраты на тонну клинкера	тыс.евро/т клинкера	7,91E-04	3,16E-03
Затраты на тонну сниженного SO_x	тыс.евро /т сниж. SO_x		
Фактор неснижения SO_x	тонна SO_x на тонну клинкера	0,0023 1000 мг/нм^3	0,00368 1600 мг/нм^3
Эффективность снижения	%	60	75
Всего	тыс.евро/т сниж. SO_x	0,573	1,144
Определение переменных эксплуатационных расходов			
Стоимость эл.энергии [3)]			
Дополнительная потребность в эл.энергии (λ^c) [4)]	кВт·ч /т клинкера	1,53 70 кВт	8,18 375 кВт
Стоимость эл.энергии	евро/кВт·ч	0,0569	0,0569
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	8,69E-05	4,66E-04
Стоимость размещения отходов			
Фактор неснижения выбросов загрязняющиего в-ва ($Эф_{неснижения}$) [6)]	т загрязнителя на тонну клинкера	0,0023	-
Потребность в размещении отходов	т/т вовращенного загрязнителя	0	-
Удельная стоимость размещения отходов (c^s)	евро /т		-
Эффективность удаления (η)	%	60	-
Всего	тыс.евро/т клинкера	0	0
Стоимость извести/известняка			
Фактор неснижения выбро-	тонна загрязнителя на	0,0023	0,00368

сов загрязнителей [6)]	тонну клинкера		
	Ca/S мольное отношение для выделений SO_x	2,2	
	Ca/S мольное отношение для удален. SO_x		1,02
Удельный расход сорбента (λ^s)	т извести/т удаленного загрязнителя	4,24	-
Удельный расход известняка (λ^s)	т известняка/т удаленного загрязнителя		1,59
Стоимость сорбента (c^s)	евро/т	100	20
Эффективность удаления	%	60	75
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	5,85E-05	8,80E-05
Стоимость трудозатрат [5)]			
Потребность в трудозатратах (λ^1)	чел-год/т клинкера	7,10E-07	1,42E-06
Зарплата (c^1)	тыс.евро/чел-год	37,234	37,234
Всего	тыс.евро /т клинкера	2,64E-05	5,29E-05
Всего переменных эксплуатац. расходов	тыс.евро /т клинкера	6,98E-04	6,06E-04

[0)]2000 данных для завода производительностью 1100 т/сут, представляющего средний завод стран ЕС в 1995 году
[1)] 10 % O_2
[2)] капиталовложения
[3)] стоимость электроэнергии = $\lambda^c \cdot c^c/10^3$ (тыс.евро/т)
[4)]допонительная потребность электроэнергии – новое общее птребление – старое общее потребление
[5)]стоимость трудозатрат = $\lambda^1 \cdot c^1$ (тыс.евро/т)
[6)]стоимость извести $\lambda^s \cdot c^s \cdot эф_{несниженния} \cdot \eta/10^3$ (тыс.евро/т)
$эф_{неснижения}$: фактор неснижения выбросов загрячзнителей
λ^s : удельная потребность извести (т загрязнителя/т)
c^s: стоимость извести (евро/т)
η: эффективность возврата (= 1- $эф_{возвращенного}$ / $эф_{нефозвращенного)}$

1.4.9 Производственные потери / отходы

Описание

Собранная пыль может быть возвращена в производственный процесс. Возврат пыли может производиться напрямую в печь, либо совместно с питанием печи сырьевой смесью (в этом случае лимитирующим фактором является концентрация щелочных металлов), либо смешением с цементом. Альтернативное использование может быть предложено для материалов, которые нельзя возвращать в процесс.

Достигнутые эффекты по охране окружающей среды

Снижение количества отходов, появившихся в процессе производства, снижает расходы сырьевых материалов.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Содержание металлов в собранной пыли является лимитирующим фактором для ее использования в качестве сырьевого материала и может оказать негативное влияние на выбросы металлов.

Дополнительным лимитирующим фактором является содержание хлора в собранной пыли, а ее возврат в производственный процесс (подача в печь или смешение с цементом) должен быть адаптирован к требованиям качества продукции.

Эксплуатационные данные

Нет данных

Применимость

Вторичное использование производственных отходов в принципе применимо в цементной промышленности (см. раздел 1.3.5).

Экономика

Нет данных.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Заводы 27 стран ЕС

[86, 88, 75, 103, 168].

1.4.10 Шум

Описание

Этот раздел касается возможности снижения шума, появляющегося на отдельных этапах цементного производства.

Снижение шума часто можно достигнуть непосредственным применением технических решений, направленных на изоляцию источников шума. Такими источниками являются добыча сырья и его переработка, получение клинкера и цемента, установки дробления, помола и приготовления сырья, цементные печи сами по себе, мельницы для помола цемента, ленточные конвейеры, фильтры, холодильники, такие как рекуператорный холодильник и др. Шум появляется во всем производственном процессе, начиная со взрыва на карьере до получения конечной продукции.

Чтобы снизить уровень шума и предотвратить его распространение на близлежащую территорию, на цементом заводе могут быть применены различные технические решения по снижению шума:

- ограждение шумящих установок;
- изоляция вибрирующих установок;
- использование внутренней и наружной обшивки, сделанной из стойкого материала для лотков, желобов;
- строения для прикрытия эксплуатационного оборудования, перерабатывающего материалы;
- возведение стен, защищающих от шума;
- глушитель на выпускном отверстии для дымовой трубы;
- звукоизоляция изоляция каналов, труб и воздуходувок, которые находятся в шумонепроницаемом здании.

Если вышеупомянутые технические решения не могут быть применены и если установки, выделяющие шум, невозможно перевести в отдельные здания, например, из-за размера печей и их средств обслуживания, применяются вторичные технические решения. Например, должно быть осуществлено строительство зданий или природных барьеров, таких как растущие деревья и кустарников между защищаемой зоной и источником активного шума, например, печь или площадь склада. Двери и окна защищаемого пространства должны быть плотно закрыты в период эксплуатации шумовыделяющих установок.

Достигнутые эффекты по охране окружающей среды

Снижение выделения шума.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных.

Эксплуатационные данные

Нет данных.

Применимость

Технические решения для снижения шума применимы в цементной промышленности (см. раздел 1.3.7).

Экономика

Могут появиться дополнительные расходы и необходимость ухода за ройствами по защите от шума.

Движущая сила внедрения технологии

Требования закона.

Примеры заводов и ссылки на литературу

Цементные заводы 27 стран ЕС.

[45, 81, 68].

1.4.11 Основные рекомендации по источникам запахов

Неприятные запахи, возникающие при выбросах углеводородов, можно избежать, используя термическое дожигание, фильтры на основе активированного угля или путем введением сырьевого материала непосредственно в горячую зону печи.

Если причиной запаха являются соединения серы, можно изменить топливо или сырьевые материалы (см. раздел 1.4.5.2).

Неприятный запах может быть следствием складирования отходов, которые используются в качестве сырьевых материалов или топлива. Места складирования таких отходов должны быть закрытыми или необходимо применять специальную систему складирования отходов.

1.4.12 Инструменты экологического менеджмента

Описание

Наилучшая экологическая результативность обычно обеспечивается внедрением наилучшей технологии и ее её практическим использованием наиболее эффективным и результативным образом. Это признается Директивой КПКЗ**,** где дается определение “технологии” как *“используемая технология и способ её проектирования, строительства, управления (эксплуатации) и вывода из эксплуатации”.*

Для КПКЗ установок Система экологического менеджмента (СЭМ) является инструментом, который оператор может систематически и наглядно использовать для разработки (проектов), их реализации, эксплуатации, технического обслуживания установок и вывода их из эксплуатации СЭМ включает в себя организационную структуру, ответственность, практику, процедуры, процессы и ресурсы для развития, поддержания, пересмотра и мониторинга экологической политики. Система экологического менеджмента наиболее эффективна и работоспособна там, где она является неотъемлемой частью общей системы менеджмента установки (предприятия).

Эффективная СЭМ содержит представление о непрерывном улучшении, означающее, что экологический менеджмент является непрерывным процессом, а не проектом, который со временем приходит к концу. Имеются различные процессы проектирования, но система экологического менеджмента основана на цикле PDCA: планируй – выполняй – оценивай – действуй, который широко используется в любых других системах менеджмента. Цикл является повторяющейся динамической моделью, в которой завершение одного цикла последовательно приводит к началу последующего, как показано на Рис. 1.70.

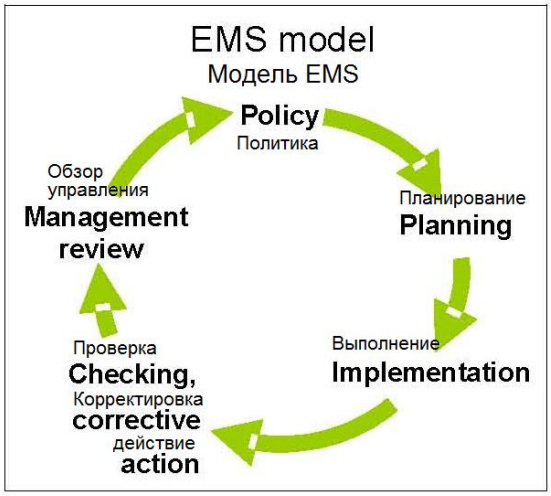

Рис. 1.70 Непрерывное улучшение в модели СЭМ

В странах ЕС многие организации решили на добровольной основе внедрять системы экологического менеджмента, основанные на EN ISO 14001:2004 или европеской Схеме экоменеджмента и аудита EMAS. EMAS включает требования системы в соответствии с EN ISO 14001:2004, но дополнительно подчеркивает жесткое требование в отношении соблюдения природоохранного законодательства, улучшения экологической результативности и вовлечения персонала в развитие СЭМ. Требуется внешнее подтверждение существования и функционирования (сертификация) системы и подтверждение публичного экологического заявления (в EN ISO 14001:2004 самодекларация, декларация внедрения системы является альтернативным внешним подтверждением). Существует также много организаций, которые решили использовать нестандартные и не сертифицированные системы экологического менеджмента.

Как стандартные (EN ISO 14001:2004 и EMAS), так и нестандартные системы в принципе принимают *организацию* как единое целое, однако несколько ограничивают её рамки, не включая некоторые направления деятельности организации, например не распространяя охват СЭМ на продукцию и услуги организации, а рассматривая лишь то, что Директивой КПКЗ определяется как *установка* (статья 2 Директивы).

Система экологического менеджмента для установок КПКЗ может содержать следующие составные части (компоненты):

a) ответственность высшего руководства,
b) определение экологической политики,
c) планирование и установление целей и задач,
d) разработка и внедрение процедур,
e) проверка и корректирующие действия,
f) анализ со стороны руководства,
g) подготовка регулярного экологического заявления (отчета),
h) подтверждение соответствия органом по сертификации или получение заключения сторонней организации,
i) разработка рекомендаций по процедуре вывода из эксплуатации установки, заканчивающей свой жизненный цикл,
j) разработка более чистых технологий,
k) сравнительный анализ (бенчмаркинг).

Некоторые их этих компонентов рассматриваются ниже более детально. Для детальной информации по компонентам от b) до h), которые входят в число требований EMAS, читатель может обратиться к соответствующим литературным источникам, приведенным ниже.

a) ответственность высшего руководства

Ответственность высшего руководства является предварительным условием для успешного функционирования системы экологического менеджмента. Важно, чтобы высшее руководство:

- включало вопросы экологического менеджмента в список приоритетов управления компанией, так, чтобы экологический менеджмент был заметной и убедительной (престижной) составной частью общей системы управления,
- назначило управляющего высшего звена, ответственного за вопросы, связанные экологическим менеджментом,
- поддерживало формирование культуры экологического менеджмента и создавало необходимые движущие силы для ее развития,
- устанавливало (долгосрочную) стратегию достижения экологических целей,
- устанавливало задачи компании, подлежащие решению в порядке достижения экологических целей,
- определяло коротко- и среднесрочные действия (мероприятия), необходимые для достижения долгосрочных целей,
- обеспечивало постоянный учет целей комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды при планировании инвестиций и закупок. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды достигаются путем реализации комплексного, интегрального подхода к принятию решений, охватывающих вопросы приобретения средозащитного и основного оборудования, планирования, производства, технического обслуживания, а также вопросы развития экологического менеджмента.
- определяло экологическую политику (см. пункт b).

b) экологическая политика

Высшее руководство несет ответственность за разработку экологической политики установки (предприятия) и обеспечение того, чтобы она:

- соответствовала характеру, масштабу производства и его воздействию на окружающую среду,
- содержала обязательство по предотвращению загрязнения окружающей среды включая эффективность использования сырья, энергии и воды,
- включала обязательство соблюдать все требования природоохранного законодательства и нормативных актов в этой области, которые распространяются на деятельность этой организации, а также другие требования, признавать которые эта организация приняла решение;
- обеспечивала рамки для установки и пересмотра экологических целей и задач;
- была документирована и доведена до сведения всех сотрудников,
- была доступна для широкой общественности и всех заинтересованных сторон.

c) планирование и постановка задач и целей:

Важно иметь:

- процедуры идентификации экологических аспектов установок для того, чтобы определить те элементы деятельности, которые оказывают или могут оказывать значимое воздействие на окружающую среду; эта информация должна (регулярно) актуализироваться,
- процедуры оценки предложений в отношении новых процессов, установок и оборудования, изменения сырьевых и вспомогательных материалов или топлива, улучшения (рационализации), перестройки и замены узлов, оборудования и пр. с тем, чтобы идентифицировать экологические аспекты и учитывать при планировании усовершенствований и закупках возможность, оптимизации экологической результативности установки в соответствии с целями Директивы КПКЗ,

- процедуры утверждения усовершенствований, указанных выше, и осуществления проверки после внесения этих усовершенствований и перед запуском установки,
- процедуры идентификации и доступа к законодательным и другим требованиям, выполнять которые обязалась организация, и которые применимы к экологическим аспектам ее деятельности,
- порядок разработки и пересмотра документов, отражающих экологические цели и задачи, с учетом законодательных и других требований, которые организация обязалась выполнить, а также мнений заинтересованных сторон,
- порядок разработки и пересмотра программы экологического менеджмента, включающей делегирование ответственности за достижение экологических целей и решение экологически задач на соответствующим функциональным подразделениям и уровням, а также выделение ресурсов и времени, необходимых для достижения этих целей и решения задач,
- процедуры аудита для анализа, например, эффективности использования энергии, воды, сырьевых и вспомогательных материалов.

d) внедрение и поддержание процедур

Важно иметь устойчиво функционирующую систему для обеспечения того, чтобы процедуры были известны, понятны и чтобы они соблюдались; поэтому эффективный экологический менеджмент включает следующие позиции:

i) Структура и ответственность
   - определение, документирование, обеспечение отчетности и коммуникаций в части обязанностей в рамках СЭМ, что предусматривает также назначение одного специального представителя руководства (в дополнение к высшему руководству СЭМ (см. пункт (а) выше);
   - обеспечение ресурсами, необходимыми для внедрения и контроля системы экологического менеджмента, включающие человеческие (кадровые) ресурсы, специалистов, обладающих знаниями и навыками, методы и финансовые ресурсы.

ii) Подготовка, осведомленность и компетенции
   - следует определить, документировать и довести до сведения персонала требования к навыкам и компетентности, необходимые для каждого участка работы,
   - Следует выявить потребности в подготовке персонала и организовать соответствующее обучение таким образом, чтобы обеспечить всех сотрудников, деятельность которых может привести к значимому воздействию на окружающую среду, знаниями, необходимыми на каждом этапе работы, включая подготовку, пуск, штатную работу, остановку и нештатные ситуации.

iii) Коммуникации
   - внедрение и поддержка процедур коммуникации для внутреннего обмена информацией между различными уровнями и функциональными подразделениями организации, а также процедур, направленных на развитие диалога с заинтересованными сторонами, и процедур получения, документирования и, если необходимо, подготовки ответов на запросы заинтересованных сторон.

iv) Вовлечение персонала
   - вовлечение работающих в процесс, нацеленный на достижение высокого уровня экологической результативности путем применения соответствующих форм участия, таких, как ящик для практических предложений или создание проектных рабочих групп и экологических комитетов.

v) Документирование
   - внедрение и поддержка актуализированной информации, на бумажном или электронном носителе, для того, чтобы описать основные элементы системы менеджмента и их взаимосвязь, а также дать ссылки на другие связанные (с этой системой) документы.

vi) Эффективный процессный контроль

- адекватный контроль процессов и оборудования (включая оборудование по предотвращению и контролю загрязнения окружающей среды) на всех этапах производства, включая подготовку, пуск, штатное функционирование, остановку и нештатные ситуации,
- идентификация ключевых показателей результативности (например, потока, давления, температуры, состава, количества) и методов (например, системы взвешивания, измерения, расчета, отбора проб и выполнения анализов) для замера и контроля этих параметров,
- документирование и анализ нештатных ситуаций для того, чтобы определить их причины и предпринять корректирующие действия таким образом, чтобы не допустить их повторных проявлений (это может быть обеспечено культурой производства “без обвинений”, когда идентификация причин является более важной, чем наказание отдельных личностей).

vii) Программа технического обслуживания
- разработка четкой программы технического обслуживания (включая планово-предупредительный ремонт), основанной на анализе технических характеристик оборудования, нормативах процесса, а также сведениях об имевших место сбоях в работе оборудования и их последствиях,
- выявление из данных о штатном функционировании установок, их работе в нештатных условиях и поломках сведений о возможном снижении экологической результативности, а также об имеющихся резервах ее повышения;
- поддержание программы технического обслуживания посредством ведения соответствующих систем записей и проведения диагностических испытаний,
- четкое распределение ответственности за планирование и выполнение мероприятий по техническому обслуживанию оборудования.

viii) Готовность к нештатным ситуациям и авариям и ответные действия
- разработка и поддержание процедур идентификации потенциальных нештатных ситуаций и аварий порядка действий при их возникновении с тем, чтобы обеспечить предотвращение и смягчение их негативного воздействия на окружающую среду.

e) Проверка и корректирующие действия (см. также сравнительный анализ (бенчмаркинг) (k))

i) Мониторинг и измерение
- организация должна установить и поддерживать документированные процедуры мониторинга и измерений (на регулярной основе) ключевых характеристик осуществляемых ею операций и видов деятельности, которые могут оказывать значимое воздействие на окружающую среду. Эти процедуры должны включать регистрацию информации для отслеживания результативности*, надлежащих мер по оперативному контролю и соответствия экологическим целям и задачам организации (см. также Справочный документ по основным принципам мониторинга (производственного экологического мониторинга) [151],
- установление и поддержание процедур для постоянной оценки соответствия требованиям законодательных и нормативных актов.

ii) Корректирующие и предупреждающие действия
- разработка и поддержание процедур для определения ответственности и полномочий по определению несоответствий условиям (природоохранных) разрешений, другим требованиям и обязательствами, а также целям и задачам организации,
- принятие мер для смягчения любых вызванных воздействий, а также по инициированию и выполнению корректирующих и предупреждающих действий, которые должны соответствовать важности проблем и быть соразмерны выявленному воздействию на окружающую среду.

iii) Записи (протоколы)
- установление и поддержание процедур для идентификации, хранения и размещения четких поддающихся распознаванию и отслеживаемых записей по экологиче-

скому менеджменту, включая записи по подготовке кадров и результаты аудитов проверок.

iv) Аудит

- разработка и поддержание программы (или программ) и процедур периодических аудитов системы экологического менеджмента. Такая программа (или программы) включает обсуждения с персоналом, проверки режима работы и оборудования и проверку записей и документации. Результаты каждого аудита представляются в виде письменного отчета, выполненного беспристрастно и объективно сотрудниками самой организации (внутренний аудит) или третьей стороной (внешний аудит). Отчет включает описание задач и охвата аудита, частоту выполнения аудитов и методологию, а также ответственность и требования проведения аудита и его результаты для того, чтобы определить, соответствует ли система экологического менеджмента запланированным принципам ее организации, должным ли образом система внедрена и поддерживается ли она в рабочем состоянии,
- проведение аудита или цикла аудитов с интервалом не более трех лет в зависимости от характера, масштаба и сложности деятельности организации, от значимости вызываемого ее деятельностью воздействия на окружающую среду, а также от важности и неотложности, выявленных предыдущими аудитами экологических проблем; при более сложной деятельности с более значимым эко воздействием на окружающую среду аудиты проводят более часто,
- внедрение механизма, гарантирующего то, что по результатам аудита приняты соответствующие меры.

v) Периодическая оценка соответствия законодательным требованиям

- оценка соответствия организации соответствующим требованиям законодательства по охране окружающей среды и условиям природоохранного разрешения,
- поддержание в актуальном виде документации по оценке соответствия.

f) Анализ системы и оценка руководством

- высшее руководство должно оценивать СЭМ через запланированные интервалы времени, чтобы обеспечить ее постоянную пригодность, адекватность и результативность,
- обеспечение накопления информации таким образом, чтобы руководство могло производить оценку возможностей улучшения и необходимости изменений СЭМ,
- документирование результатов оценки.

g) Подготовка регулярного экологического заявления (отчета):

- подготовка экологического заявления предусматривает особое внимание к соответствию достигнутых результатов организации поставленным экологическим целям и задачам. Заявление должно выпускаться регулярно – один раз в год или реже, в зависимости от значимости выбросов/сбросов, образования отходов и т.д. Заявление уситывает потребности заинтересованных сторон в информации и является публично доступным (в виде электронной публикации, в библиотеках и т.д.). При выпуске экологического заявления оператор гарантирует, что выбранные показатели:
  - i) дают точную оценку экологической результативности организации,
  - ii) являются понятными и недвусмысленными,
  - iii) позволяют из года в год оценивать совершенствование экологической результативности установки,
  - iv) позволяют сравнивать с отраслевыми, национальными или региональными показателями соответственно,
  - v) позволяют сравнивать с установленными законодательными и нормативными требованиями.

h) Подтверждение соответствия органом по сертификации или внешней организацией

- доверие к системе экологического менеджмента может возрасти, если эта система, процедуры (внутреннего) аудита и экологическое заявление (отчет) будут проверены и получат подтверждение аккредитованным органом по сертификации или внешней организацией,

i) Планирование вывода установки из эксплуатации завода по окончании ее жизненного цикла

- учет возможного воздействия на окружающую среду при выводе установки из эксплуатации следует проводить еще на стадии проектирования создания нового предприятия; это способствует тому, чтобы вывод был органозован легче, чище и дешевле,
- вывод установки из эксплуатации сопровождается повышенным риском загрязнения почв, грунтов и подземных вод, а также образованием большого количества твердых отходов. Методы предотвращения загрязнения зависят от конкретных технологических процессов, реализованных на предприятии, но общие соображения включают следующие позиции:

i) избегать создание подземных структур,
ii) проектировать установки и оборудование так, чтобы облегчить их демонтаж,
iii) выбор покрытий, которые обеспечивают легкую очистку поверхности,
iv) использование конфигурации оборудования, обеспечивающей минимальное накопление/задержку химических реагентов, хороший дренаж и чистку установки,
v) проектирование самостоятельных подразделений (цехов), способных к постадийному закрытию,
vi) использование, где это возможно, биологически разлагаемых и предусматривающих повторное использование материалов.

j) Разработка более чистых технологий:

- защита окружающей среды должна отличительной чертой разработки (проектирования) любых процессов как самим оператором, так и его подрядчиками, так как на наиболее ранних стадиях развития процессов учет наилучших доступных технологий и методов осуществляется эффективнее и дешевле. Развитие чистых технологий может проявиться через научно-техническую деятельность (R&D) и исследования. В качестве альтернативы осуществления внутренней деятельности предприятия может быть рассмотрена совместная работа операторов и научных сотрудников соответствующей области знаний.

k) Сравнительный анализ (бенчмаркинг):

- выполнение систематических (проводимых в соответствии с четкой системой, методологией) и регулярных сопоставлений экологической результативности предприятия с отраслевыми, национальными или региональными показателями, включающими энергетическую эффективность и энергосбережение, выбор сырьевых материалов, выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод (используя, например, Европейский реестр загрязняющих веществ, EPER), потребление воды и образование отходов.

Стандартизованные и нестандартизованные системы экологического менеджмента

Система экологического менеджмента может быть представлена в стандартизованной и нестандартизованной (созданной «под задачи» предприятия) форме. Внедрение и поддержвание системы, соответствующей требованиям международных стандартов (таких, как EN ISO 14001:2004), способствует укреплению доверия к СЭМ, особенно в тех случаях, когда система прошла процедуру внешней сертификации. EMAS способствует дальнейшему упрочения доверия благодаря взаимодействию с общественностью посредством публикования экологического заявления и применению механизма обеспечения со-

ответствия организации установленным законодательным и нормативным требованиям. Однако нестандартизованные системы, должным образом разработанные и внедренные, могут, в принципе, быть эффективными инструментами менеджмента.

Экологические преимущества

Внедрение и поддержание в рабочем состоянии СЭМ привлекает внимание оператора к экологической результативности установки. В частности, поддерживание и выполнение четких процедур в штатных и нештатных ситуациях и соответствующее распределение обязанностей дает гарантию того, что на предприятии всегда соблюдаются условия природоохранного разрешения, достигуютчся поставленные цели и решаются задачи.

Система экологического менеджмента обычно обеспечивает постоянное улучшение экологической результативности установки. Чем более низкие показатели зарактеризуют установку на начальном этапе, тем более существеннх результатов можно долтичь в краткосрочной перспективе. Если же предприятие уже (к моменту внедрения СЭМ) добилось хорошего уровня экологической результативности, система экологического менеджмента помогает оператору поддерживать этот высокий уровень.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Методы экологического менеджмента проектируются таким образом, чтобы минимизировать воздействие установки на окружающую среду в целом, соответствуя тем самым интегральному, комплексному подходу, предусматриваемому Директивой КПКЗ.

Эксплуатационные данные

Все значительные входные потоки (включая потребление энергии) и выходные потоки (выбросы, сбросы, отходы) взаимосвязанно управляются оператором в кратко- средне- и долгосрочном аспектах, с учетом особенностей финансового планирвоания и инвестиционных циклов. Это означает, например, что применение краткосрочных решений по очистке выбросов и сбросов («на конце трубы») может привести к долгосрочному повышению потребления энергии и отсрочить инвестиции в потенциально более выгодные решения по защите окружающей среды. Все это требует обсуждения и учета перекрестных эффектов (эффектов воздействия на различные компоненты окружающей среды); для оценки и поиска наиболее выгодного решения необходимо руководствоваться Справочным документом по экономическим вопросам и эффектам воздействия на различные компоненты окружающей среды [179] и Справочным документом по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергетической эффективности [181].

Применимость

Компоненты СЭМ, описанные выше, могут быть применены ко всем установкам КПКЗ. Охват (например, уровень детализации) и сущность системы экологического менеджмента (как стандартизованной, так и нестандартизованной) должны соответствовать природе, масштабу, сложности установки и уровню её воздействия на окружающую среду.

Экономика

Очень трудно точно определить стоимость и экономическую эффективность внедрения и поддержания хорошо действующей системы экологического менеджмента. В этой области был выполнен ряд исследований [1], но они не отражают размера и сложности проблемы для цементной (известковой и магнезиальной) отраслей промышленности. Экономическая выгода от внедрения СЭМ варьирует от отрасли к отрасли.

В некоторых государствах – членах ЕС стоимость надзора снижается, если установка прошла сертификацию.

---

[1] E.g. Dyllick and Hamschmidt (2000, 73) quoted in Klemisch H. and R. Holger, Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen – Befunde bisheriger Umsetzung, KNI Papers 01/ 02, January 2002, p 15; Clausen J., M. Keil and M. Jungwirth, The State of EMAS in the EU.Eco-Management as a Tool for Sustainable Development – Literature Study, Institute for Ecological Economy Research (Berlin) and Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy (Berlin), 2002, p. 15.

Стоимость сертификации системы может быть определена с помощью справочника, издаваемого Международным форумом по аккредитации (http://www.iaf.nu).

Движущие силы внедрения СЭМ

Система экологического менеджмента может обеспечить ряд преимуществ, например:

- уточнение сведений об экологических аспектах компании;
- улучшение основы для принятия решений;
- улучшение мотивации персонала;
- дополнительные возможности снижения эксплуатационных затрат и улучшение качества продукции;
- улучшение экологической результативности;
- улучшение имиджа компании;
- снижение затрат, связанных с экологическими нарушениями, невыпоонением установленных требований и страхованием;
- повышение привлекательности компании для работников, клиентов и инвесторов;
- увеличение доверия со стороны надзорных и регулирующих органов, что может привести к снижению строгости надзора;
- улучшение отношений с экологическими группами (общественными организациями).

Примеры заводов

Приемы и действия, описанные в пунктах b - f, являются элементами EN ISO 14001:2004 и Схемы экологического менеджмента и аудита Европейского Сообщества (EMAS). Эти две стандартизованные системы применяются для большинства установок Директивы КПКЗ.

Ссылки на литературу

Правило (ЕС) № 761/2001 г. Европейского парламента и Совета Европы относительно добровольного участия организаций в Схеме экологического менеджмента и аудита (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm), (EN ISO 14001:2004, http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html; http://www.tc207.org)

1.5 Наилучшие доступные технологии для цементной промышленности

Для понимания этого раздела и его содержания читателю необходимо вернуться к предисловию настоящего документа и в особенности к пятому разделу предисловия «Как понимать и использовать настоящий документ». Технические решения и связанные с ними выбросы вредных веществ и уровни (или диапазон уровней) ресурсо- и энергопотребления, представленные в этом разделе, оценены путем повторяющихся процессов, включающих:

- идентификация основных источников воздействия на окружающую среду по данной отрасли производства; для производства цемента – это использование энергии, включая использование отходов как топлива и выбросы в атмосферу;
- анализ наиболее целесообразных технических решений, связанных с источниками воздействия на окружающую среду;
- выявление лучших уровней защиты окружающей среды на базе имеющихся данных Европейского Сообщества и во всем мире;
- исследование условий, при которых достигаются указанные уровни: стоимость, перекрестные эффекты, основные движущие силы, вовлекаемые в выполнение технических решений;
- отбор наилучших доступных технологий (НДТ) и связанных с ними воздействий на окружающую среду и/или уровней ресурсо- и энергопотребления для отрасли в соответствии со статьей 2(12) и Приложения IV к Директиве.

Экспертное решение Европейского Бюро КПКЗ и соответствующая Техническая Рабочая Группа играют ключевую роль в каждом из этих шагов в направлении представляемой здесь информации.

В данном разделе представлены наилучшие доступные технологии и связанные с ними уровни воздействия на окружающую среду и ресурсо- и энергопотребления, полученные путем реализации пошаговой стратегии, описанной выше. Уровни воздействия на окружающую среду и уровни ресурсо- и энергопотребления следует понимать как показатели, которые могут быть достигнуты при применении НДТ с учетом стоимости реализации этих технологий. Уровни воздействия на окружающую среду и уровни ресурсо- и энергопотребления не могут рассматриваться сами по себе, без учета других факторов. В некоторых случаях технически возможно достигнуть лучших показателей по выбросам или потреблению, но из-за стоимости или перекрестных эффектов они не рассматриваются как присущие НДТ для отрасли в целом. Однако такие уровни могут приниматься во внимание в специальных случаях, если имеются специальные условия для их применения.

Уровни воздействия на окружающую среду и уровни ресурсо- и энергопотребления, связанные с использованием НДТ, должны рассматриваться с использованием установленных технических условий и за определенные усредненные периоды.

Необходимо различать понятие «уровни, связанные с НДТ» и «достижимый уровень». Если используется понятие «достижимый уровень» при использовании определенного метода или технологии или их комбинации, то оно должно пониматься как ожидаемое значение показателя за определенный период времени для отлаженного агрегата или процесса, использующих настоящие технические решения.

Если имеется возможность, данные по стоимости внедрения приведены совместно с описанием технических решений, представленных в разделе 1.4. В тексте приведены точные показатели по величине привлекаемых средств. Однако конкретная их величина будет зависеть от конкретной ситуации, например налогов, сборов, субсидий и технических характеристик соответствующих установок. В настоящем документе невозможно полностью оценить все указанные факторы. При отсутствии соответствующих данных заключения по

экономике и жизнеспособности технических решений сделаны на основании данных по существующим установкам.

НДТ и уровни воздействия на окружающую среду и уровни ресурсо- и энергопотребления, представленные в настоящем разделе, являются «общими», присущими отрасли в целом. Они являются «реперными точками», относительно которых производится оценка существующего агрегата или принимается решение о строительстве нового агрегата. В этом смысле они призваны оказать помощь в оценке, основаны ли данная установка или процесс на принципах использования НДТ в соответствии со статьей 9(8) Директивы КПКЗ**.** Новые установки или процессы могут быть спроектированы так, что будут совершеннее тех, что описаны в НДТ. Также следует принимать во внимание тот факт, что и существующие установки и процессы могут совершенствоваться с учетом технической и экономической оценки их внедрения.

НДТ не имеют прямой связи со стандартами, они являются усредненной информацией для руководства промышленности, государства и общественности по достижимым выбросам и уровню потребления при использовании специальных технических решений.

Для специальных, уникальных установок НДТ могут использоваться или индивидуально, или в комбинации с другими НДТ, описанными в данном разделе.

Если технические решения, применяемые индивидуально, рассматриваются как НДТ, то, вопрос, является ли технология при использовании комплекса решений также НДТ должен рассматриваться в каждом конкретном случае специально.

Рекомендации в помощь пользователям/читателям настоящего документа:

Строго рекомендуется читать раздел 1.5 в связке с разделом 1.4, потому что при рассмотрение вопросов применимости технических решений, упомянутых в разделе 1.4, должны быть взяты в расчет сами решения. Чтобы помочь читателям в этом, ссылка на соответствующий раздел 1.4 включена в раздел 1.5.

Если не упоминается иначе, в данном разделе приводимый уровень выбросов, связанный с НДТ, выражается в виде среднесуточных показателей при стандартных условиях. Применяются следующие определения относительно стандартных условий для объема потоков и концентраций печных отходящих газов:

нм^3/ч	Объем потока: если не упоминается иначе, в этом разделе объем потока относится к 10 об. % кислорода при стандартном состоянии.
мг/нм^3	Концентрация: если не упоминается иначе, в этом разделе концентрация газообразных веществ или смесей веществ относятся к проходящему сухому газу с 10 об. % O_2 в стандартном состоянии.
Стандартное состояние	Относятся к температуре 273 К, давлению 1013 кПа и сухому газу.

Как указано в Предисловии, настоящий документ не устанавливает и не предлагает предельные значения величин выбросов. Наилучшие доступные технологии и связанные с ними уровни выбросов, энерго- и ресурсопотребления относятся к печным установкам различных размеров, разных типов, действующих непрерывно и периодически, с различным количеством часов работы в году. В этом документе специфические местные условия не могут быть полностью учтены. Определение подходящих разрешаемых условий будет включать и учитывать локальные факторы, такие, как технические характеристики установок, их географическое положение и местные условия окружающей среды. Даже единственный объект с гарантией высокого уровня защиты окружающей среды в целом часто будет вовлекаться в подготовку решения о его воздействии на окружающую среду, причем эти решения часто зависят от результатов обсуждения на местах.

Хотя попытка адресации в данном документе предпринимается, однако такой возможности для их полного рассмотрения в настоящем документе нет. Поэтому технологии и уровни выбросов и потребления, представленные в разделе 1.5, не будут необходимыми для всех установок. С одной стороны, обязательства обеспечить высокий уровень защиты окружающей среды, включая минимизацию дальнодействующих или трансграничных выбросов, утверждают, что условия разрешения не могут быть делом только местных условий. Поэтому крайне важно, чтобы информация, включенная в настоящий документ, полностью принималась во внимание при рассмотрении и подготовке решения о строительстве новых установок и установлении соответствующих нормативов.

1.5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ)

Ряд инструментов, присущих системам экологического менеджмента, является НДТ. Степень охвата (т.е. уровень детализации) и вид СЭМ (стандартизованная или нестандартизованная) должны соответствовать природе, масштабу и сложности установки и уровню её воздействия на окружающую среду.

1. **НДТ – это реализация и выполнение определенных требований СЭМ, которые включает, в соответствии с теми или иными местными особенностями, следующие основные положения (см. раздел 1.4.12):**

(a) ответственность высшего руководства (ответственность высшего руководства рассматривается как обязательное условие выполнения других требований СЭМ)

(b) принятие высшим руководством экологической политики, которая включает требование постоянного улучшения (экологической результативности) установки;

(c) планирование и внедрение необходимых процедур, целей и задач с учетом финансовых планов и инвестиций

(d) внедрение процедур, с особым вниманиям к таким позициям, как:

- структура и распределение ответственности;
- обучение, осведомленность и компетентность (персонала);
- коммуникации;
- вовлечение в процесс развития СЭМ всех сотрудников;
- документирование;
- эффективный процессный контроль;
- программа технического обслуживания;
- готовности к нештатным ситуациям и авариям;
- гарантии обязательного соблюдения требований природоохранного законодательства.

(e) проверка и корректирующие действия, с особым вниманиям к таким позициям, как:

- мониторинг и измерения (см. также Справочный документ по общим принципам мониторинга (производственного мониторинга и контроля) [151]);
- корректирующие и предупреждающие действия;
- ведение записей;
- независимый (где осуществимо) внутренний аудит, чтобы определить, соответствует ли СЭМ заложенным изначально принципам, должным ли образом она внедрена и функционирует .

(f) регулярный анализ и пересмотр СЭМ высшим руководством на предмет её пригодности, адекватности и эффективности (действенности).

Ниже перечисляются три параметра, без которых СЭМ не могла бы быть НДТ:

- система менеджмента и процедура аудита должны быть проверены и подтверждены либо аккредитованным органом по сертификации, либо внешней организацией-регистратором;
- регулярные экологические заявления (отчеты) должны готовиться и публиковаться (в тех случаях, когда это возможно, заверяться третьей стороной) и отражать значимые экологические аспекты установки так, чтобы можно было осуществить сопоставление (по годам) с целями, задачами и отраслевыми характеристиками (когда это целесообразно);
- подготовка и публикация (возможно – внешнее утверждение) регулярных бюллетеней о состоянии окружающей среды, описывающая все важные аспекты влияния установки на окружающую среду, позволяющей выполнить из года в год сравнение целей и задач по защите окружающей среды с возможностью анализа соответствующих достижений;
- подтверждение приверженности и добровольное принятие обязательств по СЭМ в соответствии с международной системой, такой, как Схема экологического менеджмента и аудита (EMAS) и EN ISO 14001:2004. Этот добровольный шаг может обеспечить высокий уровень доверия к СЭМ. В частности, EMAS, включающая в себя все три вышеперечисленных принципа, обеспечивает такой уровень доверия. Однако и нестандартизованные системы могут быть в равной степени эффективными, если они должным образом разработаны и внедрены.

Специфически для цементной промышленности важно принять во внимание следующие потенциальные особенности СЭМ:

- воздействие на окружающую среду при выводе установки из эксплуатации должно учитываться на стадии проектирования нового завода;
- развитие более чистых технологий и учет вновь возникающих возможностей (результатов исследований);
- проведение, где осуществимо, регулярного отраслевого сравнительного анализа (бенчмаркинга) с учетом таких параметров, как энергетическуая эффективность и энергосбережение, выбор сырьевых и вспомогательных материалов, характеристики выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод, потребления воды и образования отходов.

1.5.2 Основные первичные технические решения

2. НДТ – это достижение ровного и стабильного процесса обжига в печи в соответствии с установленными параметрами, что является полезным с точки зрения всех выбросов из печи, а также потребления энергии путем применения следующих технических решений:

(a) оптимизация процесса контроля, включая компьютерный автоматический контроль (см. раздел 1.4.3.1);

(b) использование современных весовых систем подачи твердого топлива (см. разделы 1.4.2.1.1 и 1.4.3.1).

3. НДТ – это осуществление тщательного отбора и контроля всех веществ, поступающих в печь, чтобы предотвратить и/или снизить количество выбросов (см. разделы 1.4.3.2 и 1.4.3.3).

4. **НДТ – это выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов, таких, как:**

(a) постоянное измерение параметров процесса, демонстрирующих стабильность процесса: температуры, содержание O_2, разряжение, скорость потока, выбросы NH_3 при использовании технологии SNCR;

(b) контроль и стабилизация критических параметров процесса, то есть гомогенизации сырьевой смеси и питания топливом, постоянства дозирования и избытка кислорода;

(c) постоянное измерение выбросов пыли, NO_x, SO_x и CO;

(d) периодическое измерение выбросов полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов, металлов;

(e) постоянные или периодические замеры выбросов HCl, HF и общих органических соединений.

В этом контексте, при сжигании отходов должны учитываться требования Директивы по сжиганию отходов [59].

1.5.3 Потребление энергии и выбор процесса

1.5.3.1 Выбор процесса

Основные критерии относительно выбора процесса можно найти в разделе 1.4.2.3. Вопросы расхода тепла на обжиг могут быть найдены в разделе 1.4.2.1.1.

Выбор процесса производства оказывает важнейшее влияние на использование энергии и на выбросы в атмосферу в производстве цементного клинкера

5. **Для новых и полностью реконструируемых заводов НДТ – это применение печей сухого способа с многостадийным теплообменником и декарбонизатором. При регулярных и оптимизированных условиях эксплуатации в соответствии с НДТ расход тепла на обжиг находится в пределах 2900 – 3300 МДж/тонну клинкера (см. разд. 1.4.2.3 и 1.4.2.1.1)**

1.5.3.2 Потребление энергии

Основные соображения относительно потребления энергии можно найти в разделах 1.3.3 и 1.4.2.

6. **НДТ – это снижение/минимизация расхода тепла путем применения объединенных технических решений (см. раздел 1.4.2):**

(a) применение улучшенной и оптимизированной печной системы и плавного, стабильного процесса эксплуатации печи в соответствии с установленными параметрами, используя:

- оптимизацию контроля процесса, включая компьютерный автоматический контроль;
- современную весовую систему подачи топлива (см. разделы 1.4.2.1.1 и 1.4.3.1);
- расширение (по возможности) теплообменника и декарбонизатора, принимая во внимание конфигурацию существующей печи.

В этом контексте, см. раздел 1.4.2.1.1, где представлены различные технические решения, которые могут быть применены к печным системам индивидуально или в объединенном виде. К тому же в этом контексте следует посмотреть Руководящий Документ по энергетической эффективности [181];

(b) рекуперация избытка тепла из печей, особенно из зоны охлаждения (см. разделы 1.4.2.1.1 и 1.4.2.4). В частности, избыток тепла из зоны охлаждения печи (горячий воздух) или из теплообменника может использоваться для сушки сырьевых материалов. В этом контексте см. также Руководящий Документ по энергетической эффективности [181];

(c) применение соответствующего числа циклонов в соответствии с характеристиками и свойствами сырьевых материалов и используемого топлива (см. разделы 1.4.2.1.2 и 1.4.2.1.3);

(d) использование топлива с характеристиками, которые оказывают положительное влияние на потребление тепловой энергии;

(e) при замене обычного топлива отходами необходимо использовать специально оптимизированную и походящую печную систему для сжигания отходов (см. раздел 1.4.2.1.3);

(f) минимизация газового потока в систему байпаса (см. раздел 1.4.2.1.4).

7. **НДТ – это снижение потребления тепловой энергии путем снижения содержания клинкера в цементе (см.раздел 1.4.2.1.5).**

8. **НДТ – это снижение потребления тепловой энергии путем выработки дополнительного количества энергии или тепла путем объединения заводов с теплоэлектростанциями или теплоцентралями (см. Раздел 1.4.2.4), по возможности, на базе полезной потребности тепла, в пределах схем регулирования энергии, которые экономически устойчивы.**

9. **НДТ – это минимальное потребление электроэнергии путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:**

(a) использование системы управления электрическими мощностями;

(b) использование помольного и другого оборудования с высокой энергетической эффективностью.

В этом контексте см. раздел 1.4.2.2, где представлены различные технические решения.

1.5.4 Использование отходов

Основные решения, касающиеся использования отходов, можно найти в разделах 1.2.4, 1.3.4.13, 1.3.4.14 и 1.4.3.3. Рассмотрение проблем, касающихся выбросов металлов, можно найти в разделе 1.4.7.

НДТ и связанные с ними уровни выбросов можно найти в соответствующих разделах 1.5.5 – 1.5.10 ниже. В этом контексте, при сжигании отходов необходимо соблюдать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

1.5.4.1 Контроль качества отходов

10. **НДТ – это:**

a) применение системы обеспечения качества, чтобы гарантировать характеристики отходов и анализ любых отходов, которые могут быть использованы как сырьевой материал и/или топливо в цементной печи (см. раздел 1.4.3.3):

- постоянное качество;
- физические критерии, например способность к образованию выбросов, наличие грубых частиц, реакционная способность, обжигаемость и калорийность;
- химические критерии, например содержание хлора, серы, щелочей, фосфатов и соответствующих металлов.

b) контроль достаточного количества необходимых параметров для любых отходов, используемых как сырьевой материал и/или топливо цементной печи, позволяющих оценить их качество, таких, как содержание хлора, некоторых металлов (например кадмий, ртуть, таллий), серы, общего содержания галогенов.

c) применение системы обеспечения качества для каждого подаваемого в технологический процесс отхода.

1.5.4.2 Подача отходов печь

11. НДТ – это:

a) использование соответствующих точек питания печи с целью обеспечения определенной температуры и времени пребывания материала в данной зоне, зависящих от конструкции и работы печи (см. раздел 1.2.4.1)

b) подача отходов, содержащих органические компоненты, которые могут улетучиваться, до зоны кальцинирования в зону с необходимой (адекватной) температурой

c) управление работой печи таким образом, чтобы газы от сжигания отходов находились в контролируемом, гомогенизированном виде даже при наиболее неблагоприятных условиях при температуре 850 ^{o}C не менее 2 секунд

d) увеличение температуры до 1100 ^{o}C, если сжигаются опасные отходы с содержанием более 1% галогенсодержащих органических веществ (выраженные в виде хлора)

e) обеспечение постоянной и стабильной подачи отходов в печь

f) прекращение сжигания отходов при режиме розжига и охлаждения (пуска и остановки) печи, когда необходимая температура и время пребывания материала в печи не могут быть обеспечены (см. выше пункты от a) – d))

1.5.4.3 Меры безопасности при использовании вредных отходов

12. НДТ – это применение мер безопасности при операциях с вредными отходами, например, при их складировании и/или подаче в печь (см. раздел 1.4.3.3), а также использование мер предосторожности в соответствии с источником и типом отходов при ручных операциях, связанных с прикрепление этикеток, проверкой, отбором проб и испытанием отходов.

1.5.5 Выбросы пыли

1.5.5.1 Неорганизованные выбросы пыли

Основные решения, касающиеся неорганизованных выбросов пыли, можно найти в разделах 1.3.4.1.2 1.4.4.1 и 1.4.4.2

13. НДТ – это минимизация/предотвращение неорганизованных выбросов пыли путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) технические решения по операциям, связанным с неорганизованными выбросами пыли. В этом контексте, см. раздел 1.4.4.2, где представлены различные технические решения, которые могут применяться отдельно или совместно.

(b) технические решения при навальном складировании материалов. В этом контексте, см. раздел 1.4.4.2, где представлены различные технические решения, которые можно применять отдельно или совместно.

1.5.5.2 Организованные выбросы пыли

Раздел представляет НДТ для выбросов пыли, появляющейся при деятельности, отличной от обжига, охлаждения и основного процесса помола. Имеется в виду дробление сырьевых материалов, их транспортирование и подъем, складирование сырьевых материалов, клинкера, цемента, топлива (нефтяной кокс, уголь, бурый уголь) и погрузка цемента. Основные решения относительно организованных выбросов пыли при указанных операциях можно найти в разделах 1.3.4.1.1., 1.3.4.1.2 и 1.4.4.3.

14. НДТ – это применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров. Принимая во внимание указанную систему, НДТ позволяет снизить выбросы пыли из сосредоточенных источников (см. раздел 1.4.4.3) до величины менее 10 мг/нм^3 как средний показатель за время отбора проб путем применения сухой очистки газа.

Следует отметить, что данная величина выбросов должна применяться прежде всего к малым (< 10000 нм^3/ч) источникам выбросов.

В этом контексте, см раздел 1.4.4.3, где представлены различные технические решения, которые могут быть применены отдельно или совместно.

1.5.5.3 Выбросы пыли из печи для обжига клинкера

Данный раздел НДТ связан с выбросами пыли, появляющейся из печи при обжиге. Основные положения, касающиеся выбросов пыли из печей, можно найти в разделах 1.3.4.1.1 , 1.3.4.1.2 и 1.4.4.3.

15. НДТ – это снижение выбросов пыли из отходящих из печи газов путем применения сухой очистки газа с помощью фильтра. В случае применения НДТ среднесуточная величина выбросов составляет < 10 – 20 мг/нм^3. При применении рукавных фильтров, новых или модернизированных электрофильтров могут быть достигнуты более низкие величины выбросов пыли.

В этом контексте см. раздел 1.4.4.3 , где представлены различные технические решения, которые могут быть применены отдельно или совместно. При сжигании отходов должны учитываться требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

1.5.5.4 Выбросы пыли при охлаждении и помоле

Этот раздел представляет НДТ для выбросов пыли, появляющихся при охлаждении клинкера и помоле материалов. Основные положения, касающиеся выбросов пыли при охлаждении клинкера и помоле материалов, можно найти в разделах 1.3.4.1.1, 1.3.4.1.2 и 1.4.4.3.

16. НДТ – это снижение выбросов пыли из газов при охлаждении клинкера и помоле материалов путем применения сухой очистки газа с помощью фильтра. В случае применения НДТ среднесуточная величина выбросов (точечный отбор через каждые полчаса), составляет < 10 – 20 мг/нм^3. При применении рукавных фильтров, новых или модернизированных электрофильтров может быть достигнута ещё более низкая величина выбросов пыли.

В этом контексте, см раздел 1.4.4.3, где представлены различные технические решения, которые могут быть применены отдельно или совместно.

1.5.6 Газообразные соединения

1.5.6.1 Выбросы NO_x

Основные положения, касающиеся выбросов NO_x, можно найти в разделе 1.3.4.2.

17. НДТ – это снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно следующих технических решений (см. раздел 1.4.5.1):

(a) первичные технические решения:

- охлаждение пламени;
- горелки с низким выделением NO_x;
- сжигание топлива в средней части печи;
- добавление минерализатора для улучшения спекаемости сырьевой смеси;
- оптимизация процесса (см. разделы с 1.4.5.1.1 до 1.4.5.1.6).

(b) постадийное сжигание обычного топлива или топливных отходов в сочетании с декарбонизатором и использование оптимизированной топливной смеси (см. раздел 1.4.5.1.3);

(c) применение технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота SNCR (см. раздел 1.4.5.1.7),

(d) применение технологии селективного каталитического восстановления оксидов азота SCR при условии разработки подходящего катализатора и развития процесса в цементной промышленности (см. раздел 1.4.5.1.8)

В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов NO_x:

Таблица 1.42 Уровни выбросов NO_x из печей в цементной промышленности при использовании НДТ

Тип печи	Ед. измерения	Среднесуточная величина выбросов
Печи с циклонным теплообменником	мг/нм^3	< 200 – 450 [2) 3)]
Печи Леполь и длинные вращающиеся печи	мг/нм^3	400 – 800 [1)]
[1)] зависит от начального уровня и проскока аммиака [2)] связанные с НДТ уровни выбросов – это 500 мг/нм^3, после использования первичных технических решений выбросы NO_x > 1000 мг/нм^3 [3)] конструкция печи, свойства топливной смеси, включающей отходы, спекаемость сырьевой смеси влияют на диапазон выбросов. Ниже 350 мг/нм^3 достигается на печи с благоприятными условиями. Более низкая величина 200 мг/нм^3 сообщалась только тремя заводами (использовалась легко спекаемая смесь).		

В этом контексте, при сжигании отходов необходимо учитывать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

18. При применении технологии SNCR НДТ – это:

(a) применение подходящего и эффективного уровня снижения NO_x в течение стабильного протекания процесса;

(b) применение хорошего и стехиометрического распределения аммиака, для достижения наивысшей эффективности снижения выбросов NO_x и снижения проскоков аммиака,

(c) удерживание выбросов и проскоков NH_3 в отходящих газах на минимально возможном уровне, но ниже 30 мг/нм^3 (среднесуточная величина). Должна учитываться корреляция между эффективностью снижения выбросов NO_x и появлением следов аммиака (см. раздел 1.4.5.1.7). В зависимости от начального уровня NO_x и эффективности снижения NO_x проскоки аммиака могут быть выше 50 мг/нм^3. Для печи Леполь и длинных вращающихся печей указанный уровень может быть даже выше.

1.5.6.2 Выбросы SO_x

Основные положения относительно выбросов SO_x можно найти в разделах 1.3.4.3 и 1.4.5.2.

19. НДТ – это поддерживать выбросы SO_x на низком уровне или снижать выбросы SO_x из отходящих газов из печи и/или из теплообменника/декарбонизатора путем применения одного из следующих технических решений (см. раздел 1.4.5.2):

(a) добавка абсорбента;

(b) мокрый скруббер.

В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов SO_x:

Таблица 1.43 Уровни выбросов SO_x из печей в цементной промышленности при использовании НДТ

Параметр	Размерность	Среднесуточная величина
SO_x, выраженное как SO_2	мг/нм^3	< 50 – < 400
[1)] интервал принимается с учетом содержания серы в сырьевых материалах		

В этом контексте, при сжигании отходов необходимо учитывать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

20. НДТ – это оптимизация процесса измельчения сырья (для сухого способа производства), обеспечивающая снижение выбросов SO_2 из печи, как описано в разделе 1.3.4.3.

1.5.6.3 Выбросы CO и проскоки CO

1.5.6.3.1 Снижение проскоков CO

Основные положения относительно проскоков CO можно найти в разделах 1.4.3.1, 1.4.4.3.1 и 1.4.5.3.

21. При применении электрофильтров или гибридных фильтров НДТ – это минимизация частоты проскоков CO и поддержание их общей длительности менее 30 минут в год, используя для этого следующие объединенные технические решения (см. 1.4.5.3):

(a) снижение времени простоя электрофильтра. В этом контексте, см. раздел 1.4.5.3, где представлены различные технические решения, которые могут применяться как индивидуально, так и совместно;

(b) использование непрерывного автоматического измерения концентрации CO;

(c) использование оборудования для быстрого измерения и контроля, включая систему контроля CO с коротким временем отклика, расположенную вблизи источника CO.

В этом контексте, см. раздел 4.2.6, где представлено руководство по контролю проскока CO.

1.5.6.4 Суммарные выбросы органических соединений

Основные положения относительно суммарных выбросов органических соединений можно найти в разделах 1.3.4.5 и 1.4.5.4.

22. НДТ – это поддерживать выбросы суммарных органических соединений из газов, выходящих из печи, на низком уровне (см. раздел 1.4.5.4) путем применения следующих технических решений:

(a) избегать питания печи сырьевыми материалами, содержащими высокое количество летучих органических соединений, через средства подачи сырьевых материалов в печь.

В этом контексте, при сжигании отходов необходимо учитывать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

1.5.6.5 Выбросы хлорида водорода (HCl) и фторида водорода (HF)

Основные положения относительно выбросов HCl и HF можно найти в разделах 1.3.4.8 и 1.4.5.5.

23. НДТ – это поддержание выбросов HCl ниже 10 мг/нм^3 как среднесуточной величины или средней величины за период отбора проб (точечное измере-

ние через каждые полчаса) путем применения отдельно или совместно следующих первичных технических решений:

(a) использование сырьевых материалов и топлива, содержащих малое количество хлора (см. разделы 1.4.3.2 и 1.4.3.3);

(b) ограничение количества хлора в любых отходах, которые используются как сырьевой материал и/или топливо в цементной печи (см. разделы 1.2.4, 1.4.3.2 и 1.4.3.3).

24. НДТ – это поддержание выбросов HF ниже 1 мг/нм^3 как среднесуточной величины или средней величины за период отбора проб (точечное измерение через каждые полчаса) путем применения отдельно или совместно следующих первичных технических решений:

(a) использование сырьевых материалов и топлива, содержащих малое количество фтора (см. разделы 1.4.3.2 и 1.4.3.3),

(b) ограничение количества фтора в любых отходах, применяемых в качестве сырьевого материала или топлива в цементной печи (см. разделы 1.2.4, 1.4.3.2 и 1.4.3.3).

В этом контексте, см. раздел 4.2.2.1.1, где представлены уровни концентрации этих веществ в отходах. К тому же, в этом контексте, при сжигании отходов необходимо учитывать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

1.5.7 Выбросы полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (ПХДД и ПХДФ)

Основные положения относительно выбросов указанных соединений можно найти в разделах 1.3.4.6 и 1.4.6.

25. НДТ – это избегать выбросов полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов или поддерживать эти выбросы из отходящих печных газов низкими путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) тщательно выбирать материалы, подающиеся в печь и контролировать в них содержание хлора, меди и летучих органических соединений;

(b) тщательно выбирать топлива для обжига клинкера и контролировать в нем содержания хлора и меди;

(c) ограничивать/избегать использование отходов, в которых имеются хлорсодержащие органические материалы;

(d) избегать использование топлива с высоким содержанием галогенов (хлора) при вторичном сжигании;

(e) быстро охлаждать печные отходящие газы до температуры ниже 200 ^{o}C и минимизировать время пребывания газов и содержание кислорода в зонах, где температура находится между 300 и 450 ^{o}C;

(f) прекращать сжигание отходов при розжиге и охлаждении (пуске и остановке) печи.

В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты уровни выбросов ПХДД и ПХДФ < 0,05 – 0,1 нг I-TEQ/нм^3 (международный эквивалент токсичности, средний показатель за период отбора проб 6 – 8 часов).

В этом контексте, см. раздел 1.4.6, где представлены технические решения, применяемые отдельно или совместно. Кроме того, в этом контексте, при сжигании отходов необходимо учитывать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

1.5.8 Выбросы металлов

Основные положения относительно выбросов металлов можно найти в разделах 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 и 1.4.7.

26. НДТ – это минимизация выбросов металлов из отходящих печных газов путем использования отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) отбор материалов с низким содержанием соответствующих металлов и ограничение их содержания в используемых материалах, особенно ртути;

(b) использование системы обеспечения качества, гарантирующей требуемые характеристики используемых отходов (см. разделы 1.4.3.2 и 1.4.3.3);

(c) использование эффективных технических решений по улавливанию пыли. В этом контексте, см. раздел 1.4.4.3, где представлены различные технические решения для улавливания пыли, которые применяются отдельно или совместно.

В случае применения указанных выше НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов металлов:

Таблица 1.44 Уровни выбросов металлов из печей в цементной промышленности при использовании НДТ

Металл	Размерность	Среднее значение за период отбора проб (точечные измерения через каждые полчаса)
Hg	мг/нм^3	< 0,05 [2)]
∑ (Cd, Tl)	мг/нм^3	< 0,05 [1)]
∑(As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mg, Ni, V)	мг/нм^3	< 0,5 [1)]

[1)]сообщалось о более низких уровнях, см. разделы 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 и 1.4.7

[2)] сообщалось о более низких уровнях, см. разделы 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 и 1.4.7. Величины выбросов выше, чем 0,03 м/нм^3 требуют дальнейших исследований. Величины выбросов, близкие к 0,05 мг/нм^3, требуют дополнительных технических решений, таких, которые описаны в разделах 1.3.4.13, 1.3.9.1 и 1.4.7

В этом контексте, при сжигании отходов необходимо учитывать требования Директивы ЕС по сжиганию отходов [59].

1.5.9 Производственные потери/отходы

Основные положения относительно производственных потерь/отходов можно найти в разделах 1.3.5 и 1.4.9.

27. НДТ – это вторичное использование накопленных пылеобразных веществ или использование этой пыли в других производимых продуктах, где это возможно.

1.5.10 Шум

Основные положения относительно шума можно найти в разделах 1.3.7 и 1.4.10.

28. НДТ – это снижение/минимизация шума при производстве цемента путем применения комплекса следующих технических решений (см. раздел 1.4.10):

(a) укрытие шумных производств/агрегатов;

(b) виброизоляция производств/агрегатов;

(c) использование внутренней и внешней изоляции на основе звукоизолирующих материалов;

(d) звукоизолированные здания для укрытия любых шумопроизводящих операций, включая оборудование для переработки материалов;

(e) установка звукозащитных стен, например возведение зданий или природных барьеров, таких, как растущие деревья или кустарники между защищаемой зоной и зоной, выделяющей шум;

(f) применение глушителей для выбрасываемых потоков газов;

(g) изоляция каналов и вентиляторов, находящихся в звукоизолированных зданиях;

(h) закрывать двери и окна в цехах и помещениях.

1.6 Перспективные технологии производства цемента

1.6.1 Технология получения цемента в кипящем слое

Технология обжига портландцементного клинкера в кипящем разрабатывается в Японии при поддержке Министерства внешней торговли и промышленности с 1986 года. Пилотный завод производительностью 20 т клинкера в сутки работал в течение шести лет, в период 1989 -1995 годов, на заводе Тошиги, Сумитомо Осака Цемент, Япония. Пилотный завод производительностью 200 т/сутки был построен в конце 1995 года.

Принципиальная схема цементной печи кипящего слоя производительностью 20 т/сутки показана на Рис. 1.71. Система состоит из запечного циклонного теплообменника (SP), аэрофонтанной грануляционной печи (SBK), печи кипящего слоя (FBK), установки резкого охлаждения в кипящем слое (FBK) и клинкерного холодильника плотного слоя.

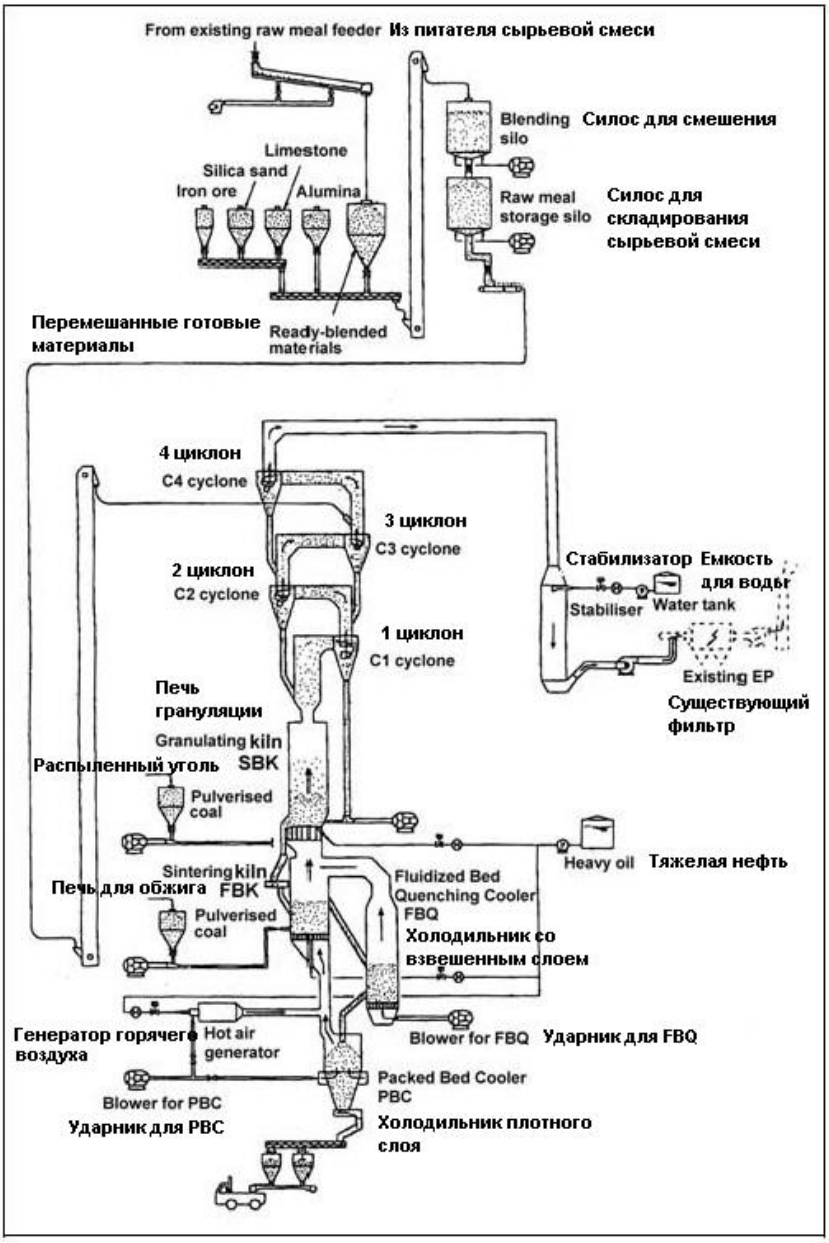

Рис. 1.71 Печь кипящего слоя [22]

Запечный теплообменник состоит из обычного четырехступенчатого циклонного теплообменника, который подогревает и декарбонизирует сырьевую смесь. Грануляционная печь гранулирует сырьевую смесь в виде гранул размером 1,5 – 2,5 мм при температуре 1300 ^{o}C. В обжиговой печи завершается гранулообразование и обжиг клинкера при температуре 1400 ^{o}C. В установке резкого охлаждения клинкер охлаждается с 1400 до 1000 ^{o}C. Окончательное охлаждение клинкера до 100 ^{o}C производится в холодильнике плотного слоя.

Клинкер, полученный в печи кипящего слоя по качеству аналогичен или лучше клинкера, получаемого в обычной печи. Выбросы NO_x составляют 115 – 190 мг/нм^3 при использовании в качестве топлива тяжелей нефти и 440 – 515 мг/нм^3 при использовании порошкообразного угля. Согласно выполненным исследованиям, для завода производительностью 3000 т клинкера в сутки расход тепла может уменьшен на 10 – 12 % в сравнении с вращающейся печью с запечным теплообменником и колосниковым холодильником, следовательно выбросы CO_2 могут быть снижены на 10 – 12 %.

Конечной целью развития технологии кипящего слоя (согласно предварительным оценкам для печи производительностью 3000 т/сутки на основе результатов испытаний пилотной печи производительностью 20 т клинкера в сутки) является:

1. Снижение расхода тепла на обжиг на 10 – 12 %;
2. Снижение выбросов CO_2 на 10 – 12 %;
3. Снижение уровня выбросов NO_x до 380 мг/нм^3 и менее;
4. Сохранение текущего уровня выбросов SO_x;
5. Снижение стоимости строительства на 30 %;
6. Снижение площади застройки на 30 %.

1.6.2 Совмещение стадийного сжигания топлива и технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота

Теоретически объединение стадийного сжигания топлива с технологией селективного некаталитического восстановления оксидов азота по своей эффективности может сравниться с технологией каталитического восстановления оксидов азота. Это направление снижения выбросов оксидов азота считается весьма многообещающим. Некоторые результаты использования технологии каталитического восстановления оксидов азота описаны в разделе 1.4.5.1.8.

1.6.3 Обработка отходящих печных газов порошкообразным бикарбонатом натрия с повторным его использованием

Описание

Этот метод предназначен, в основном, для десульфуризации отходящих дымовых газов при использовании в качестве топлива топливосодержащих отходов. Чтобы достигнуть высокой эффективности процесса и значительного снижения выбросов SO_2 используется сухой бикарбонат натрия; в зависимости от характеристик и состава натрийсодержащих отходов, они часто могут использоваться вторично в производственном процессе. Однако, в некоторых случаях, указанные отходы не могут быть использованы, потому что могут примести к высокому содержанию натрия в составе цемента.

Для того, чтобы обеспечить заметное снижение выбросов SO_x при низким количестве используемого реагента и в то же самое время позволить повторное использование отходов из отработанных газов, может быть использована технология двухстадийной фильтрации газов.

Двухстадийная фильтрация газов

Первый фильтр улавливает пыль, которая может быть возвращена в технологический процесс, поскольку не содержит соединений натрия. Инжектирование сухого порошкообразного бикарбоната натрия осуществляется в газовый поток, выходящий из этого фильтра, где он взаимодействует с SO_x с образованием солей натрия, в основном сульфата натрия (Na_2SO_4). Эти пылеобразные отходы из обработанных дымовых газов улавливаются вторым, обычно рукавным, фильтром.

Экологические преимущества

Данная технология обеспечивает высокую эффективность и степень снижении SO_x в отходящих газах; в то же время нет компромиссного интегрального вторичного использования отходов, поскольку:

- нет избытка натрия в цементе;
- не добавляется SO_x в отходящие газы.

К тому же дополнительно не образуются отходы и дополнительные природные ресурсы не используются.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Натрийсодержащие отходы могут повторно применяться только в ограниченном количестве. До 2008 года это не осуществлялось, потому что указанные отходы оказывали влияние на качество цемента и клинкера.

В некоторых случаях могут появиться дополнительные выбросы SO_x, причиной которых является рециркуляция сульфатов кальция и натрия.

Дополнительные природные ресурсы не используются, потому что реагент $NaHCO_3$ имеется на заводе кальцинированной соды.

Могут появиться дополнительные транспортные расходы, потому что отходы обработки отходящих газов транспортируются от цементного завода до перерабатывающего предприятия. Однако, количество отходов относительно небольшое в сравнении с общим количеством пыли и пыли, не содержащей сульфаты, которые напрямую используются вторично на цементном заводе.

Эксплуатационные данные

Эти технические решения проходят предпромышленные испытания. В 2008 году не было никаких данных по эксплуатации.

Применимость

Были выполнены только несколько испытаний технологии при мокром способе производства цемента. Технология двойного фильтрования особенно хорошо адаптировалась на заводах, где применяются электрофильтры для снижения выбросов пыли. В этих случаях дополнительный фильтр (рукавный фильтр) может быть менее дорогим, чем замена существующего фильтра. Однако в объединении с бикарбонатом натрия полномасштабного применения в промышленности пока нет.

Не имеется пока и цементного завода, использующего технологию двойной фильтрации в сочетании с бикарбонатом натрия (2008 год), но испытания продолжаются.

Что касается переработки сульфатсодержащих отходов, то такая технология опробована в полупромышленных условиях во Франции и исследуется/планируется на других специальных перерабатывающих заводах. Эта технология применяется в промышленном масштабе во Франции и Италии для обработки дымовых газов от сжигания городских отходов на заводах, перерабатывающих отходы обработанных отходящих газов. Информация относительно сжигания отходов может быть найдена в руководстве по НДТ по сжиганию отходов [87].

Экономика

Переработку натрийсодержащих отходов для использования в химической промышленности, как уже сделано в промышленности сжигания городских отходов – экономически

трудно оправдать, потому что в них содержится довольно много пыли, что ухудшает их качество.

Движущая сила внедрения технологии

Высокий уровень снижения или высокая эффективность снижения выбросов SO_x в отходящих газах вращающихся печей.

Примеры заводов и ссылки на литературу.

Опытный завод во Франции,

[168, 176, 182].

1.7 Заключение и рекомендации

Хронология рабочего процесса

Предварительная встреча, посвященная переработке BREF-документа по цементной и известковой промышленности, была проведена в сентябре 2005 г. Техническая рабочая группа решила расширить сферу действия настоящего документа и добавить раздел для промышленной отрасли по выпуску оксида магния (MgO/магнезия), использующей сухой способ. После периода сбора информации и данных, вторая встреча рабочей группы была проведена в феврале 2007 года для проверки и согласования информации и данных, которые было бы полезны для пересмотра BREF-документа. Рабочая группа попросила сделать исключение по процедуре пересмотра документа, чтобы провести раздельные дискуссии по обсуждению разделов 1- 4 и разделов НДТ для трех глав: по цементу, извести и оксиду магния.

Основываясь на запросе технической рабочей группы и приняв в расчет общее расписание пересмотра BREF-документов (декабрь 2005 г.), Международный форум по обмену информацией (IEF) согласился организовать раздельные дискуссии по обсуждению разделов 1 – 4 и разделов НДТ для трех глав: по цементу, извести и оксиду магния.

Первый предварительный вариант, охватывающий переработанные разделы 1 – 4 и 6 трех глав по цементу, извести и оксиду магния, был представлен для консультации в сентябре 2007 г. Вторая часть первого варианта, охватывающая секции по технологиям, рассматриваемым в качестве НДТ (разделы 1.4, 2.4 и 3.4), и разделы НДТ (разделы 1.5, 2.5 и 3.5) трех глав были выпущены для консультации в мае 2008 г. Заключительная встреча технической рабочей группы была проведена в сентябре 2008 года.

Проект первого пересмотра BREF-документа вызвал огромный интерес. Во время заключительной пленарной встречи присутствовали более 110 членов технической рабочей группы.

Основываясь на общем расписании пересмотра BREF-документов (декабрь 2005 г.), пересмотр BREF-документа по цементной и известковой промышленности не повлек полного пересмотра первого документа, принятого в декабре 2001 года; дополнена существующая и добавлена дополнительная информация (например, относительно перспективных технологий), которая могла бы повлиять на заключения относительно НДТ. Информационный обмен и комплектование данных основаны на пожеланиях технической рабочей группы и на согласованном заключении второй встречи технической рабочей группы (январь 2007 г.). Руководящий документ по сбору данных, одобренный IEF в апреле 2008 года, не был использован для указанного процесса.

Источники информации, развитие настоящей главы по цементу и информационные пробелы

Просмотренная цементная глава основывается на большом числе документов и более 50 источников информации как от промышленности, так и от государств – членов ЕС. Доклады были представлены ЦЕМБЮРО, промышленными ассоциациями, представляющими Европейскую цементную промышленность и государственными органами Германии, Австрии, Швеции, Франции, Соединенного Королевства, Ирландии, Нидерландов, Италии, Венгрии, Эстонии, Испании, Португалии, Финляндии и Чешской Республики. Кроме того, информация была представлена Европейским союзом по сжиганию и переработке специальных отходов, промышленными ассоциациями, представляющими большинство отраслей по сжиганию опасных отходов Европейского Сообщества и поставщика из Норвегии. Эти документы могут рассматриваться как строительные блоки пересмотренной части цементной главы.

Дополнительная полезная информация получена при посещении цементного производства в Соединенном Королевстве, Австрии, Германии, Бельгии, Испании, Финляндии и Венгрии.

Основываясь на информации, полученных данных и замечаниях послеконсультационного периода, настоящая цементная глава была пересмотрена с добавлением современной информации и данных. Были введены дополнительные разделы, например по использование отходов как топлива и/или сырьевого материала, а также их потребление при производстве цемента, когенерации, различных типов выбросов в атмосферу, примеры данных по стоимости для технических решений по методам снижения выбросов в отходящих газах и первичных технических решений, используемых для снижения выбросов, влиянию выбросов на энергетическую эффективность при использования отходов и инструментам экологического менеджмента.

Несмотря на большое количество полезной информации и замечаний, следует отметить некоторые проблемы и их последствия для данного раздела:

- имеется недостаток информации относительно частоты измерений в случае периодических измерений;
- имеется недостаток информации по выбросам ртути и связи между выбросами ртути и техническими решениями по их снижению;
- за небольшим исключением имеется недостаток достоверной информации относительно системы контроля и способов измерения выбросов, например выбросов ртути;
- при использовании активированного угля информация и данные имеются только относительно снижения выбросов SO_x, тогда как она может рассматриваться как технология снижения многих других выбросов в атмосферу;
- данные по использованию отходов в различных странах ЕС различаются по своей структуре и параметрам, так как являются специфичными для конкретного завода. Данные, которые были предоставлены в этом контексте, дают много специфических деталей, но не позволяют сделать количественные заключения; соответствующее заключение НДТ базируется на качественных предпосылках;
- в качестве перспективной технологии в цементной промышленности описывается технология кипящего слоя (см. раздел 1.6.1); однако техническая рабочая группа не дает информации, как и в каком направлении данная технология будет в дальнейшем развиваться.

В течение последней встречи рабочей группы имела место подробная дискуссия относительно источников и возможного снижения выбросов ртути. Дискуссия показала следующее:

- уровень выбросов ртути в основном зависит от состава сырьевых материалов. Данные по выбросам показывают, что они могут достигать 0,05 мг/нм^3, однако не ясно, откуда может происходить такой низкий уровень. ЦЕМБЮРО согласно провести исследования в этом направлении с целью лучшего понимания выбросов ртути и как это соотносится со всеми заводами. ЦЕМБЮРО попытается получить полный набор данных относительно этого направления до следующего пересмотра BREF-документа.
- непрерывный мониторинг выбросов ртути выполнен в Германии и Австрии в связи с требованиями закона о постоянном контроле ртути (в Германии – с 2000 г.). В 2008 году в цементной промышленности Германии были задействованы 34 установки СЕМ для постоянного контроля выбросов ртути. Оборудование для непрерывного контроля выбросов ртути находится в стадии испытаний, с 2008 года направленных на получение стабильных и воспроизводимых результатов. В некоторых случаях пришлось модифицировать аппараты, выпускаемые промышленностью, чтобы сделать их подходящими для индивидуального применения. Только в редких случаях (10 %), оборудование для постоянного контроля выбросов не могло быть использовано должным образом. Результаты испытаний по долгосрочной стабильности результатов пока еще недоступны. Интервалы периодического технического обслуживания будут определены на основании будущих экспериментов. В октябре 2007 года

немецкая ассоциация попросила разработчиков и поставщиков приборов для замера ртути отчет о полученных результатах. В результате разработаны руководства по использованию для большинства приборов постоянного контроля выбросов. Должна производиться обязательная калибровка приборов в соответствии с Европейским стандартом EH 1481. В случае контроля ртути такая калибровка требует еще больших усилий в сравнении с калибровкой приборов для замеры других выбросов, например для пыли или оксидов азота. Периодические процедуры по обслуживанию должны выполняться только квалифицированным и опытным персоналом.

Продолжение работ должно осуществляться в направлении улучшения долгосрочных исследований по дальнейшему развитию приборов для контроля выбросов. Итог должен быть принят во внимание при составления следующего BREF документа, а сбор информации и данных относительно этого направления позволит сделать основные выводы по непрерывным измерениям выбросов ртути.

Уровень согласованности принятия решений на финальной встрече технической рабочей группы

Заключения по работе относительно главы, посвященной цементной промышленности, были сделаны на финальной встрече рабочей группы в сентябре 2008 года. Главными темами дискуссии на этой встрече были выводы по наилучшим доступным технологиям (НДТ). Предложения НДТ для цементной промышленности обсуждались за шагом.

На финальной встрече рабочей группы было достигнуто хорошее согласие по НДТ для цементной промышленности и не было запротоколировано ни одного особого мнения. Поэтому процесс обмена информацией может рассматриваться как успешный.

Рекомендации для будущей работы

Обмен информацией и его результаты для цементной промышленности, то есть цементной главы настоящего документа, представляет собой важный шаг вперед по пути достижения комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды в цементной промышленности. Дальнейшая работа к последующему изданию должна продолжаться в следующих направлениях:

- сбор (накопление) данных с учетом руководства Международного форума по обмену информацией, выпущенном в апреле 2008 года, чтобы оценить состояние определенных технических решений на заводском уровне, особенно потенциальные НДТ;
- сбор информации, касающейся соотношения между типом процесса, используемыми отходами (тип, количество) и выбросами;
- сбор данных по стоимости (инвестиции, эксплуатационные расходы), относящихся ко всем техническим решениям, учитываемым при определении НДТ;
- сбор данных по стоимости и эффективности всех технических решений, снижающих выбросы;
- сбор информации и данных, касающихся минимизации потребления энергии или увеличения энергетической эффективности;
- сбор данных по расходам тепла и наилучших показателей для используемых типов печей;
- сбор информации и данных по снижению выбросов NO_x, особенно касающихся технологии каталитического и некаталитического восстановления оксидов азота;
- сбор информации по выбросам NH_3;

- сбор максимального количества информации, касающейся активированного угля как технического решения, снижающего выбросы всех загрязнителей, например выбросов SO_x;
- сбор информации, касающейся контроля и контроля частоты при периодических замерах, так, чтобы соответствующие органы были бы в состоянии проверить их при выдаче необходимых разрешений;
- изучение возможности пересмотра Руководящего документа по основным принципам мониторинга;
- сбор информации и данных, касающихся выбросов общих органических соединений;
- сбор данных и изучение технических решений, которые могли бы быть использованными для снижения выбросов металлов (ртути);
- сбор информации и данных о всех путях появления нежелательных металлов в технологическом процессе, особенно ртути;
- сбор информации и данных, относящихся к критериям пригодности для производства цемента различных отходов;
- сбор информации, касающейся технических решений для непрерывного контроля выбросов ртути в цементной промышленности;
- сбор информации, касающейся технологии производства цемента в кипящем слое.

Предлагаемые темы для дальнейшей исследовательской работы

Для использования технологии каталитического восстановления NO_x в цементной промышленности имеется необходимость в проведении работ, касающихся выбора соответствующих катализаторов и реализации процессов (см. НДТ 17 д раздела 1.5.6.1).

В особенности для перспективных технологий, описанных в разделе раздел 1.6, будущие исследовательские работы будут необходимы и полезны, так как эти технологии в будущем будут рассматриваться при определении НДТ для цементной промышленности.

Кроме того, ЕС запускает и поддерживает через программы науки и техники серию проектов, касающихся «чистых» технологий производства цемента, перспективных направлений переработки выбросов, рециркуляционных технологий и стратегий управления. Потенциально эти проекты могут обеспечить полезный вклад в составление будущего обзора по НДТ. Поэтому читатели приглашаются информировать Европейское бюро по контролю и предотвращению загрязнения окружающей среды о любых научных результатах, которые относятся к цели настоящего документа (см. также предисловие к документу).

2. ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ

2.1 Общие сведения об известковой промышленности

2.1.1. Известь и её применение

Известь применяли на Ближнем Востоке с незапамятных времен, т.е. ещё 8000 лет. Имеются свидетельства широкого использования негашеной извести (CaO) и гашеной извести ($Ca(OH)_2$)еще до 1000 лет до нашей эры. различными(греки, египтяне, римляне, инки, майя, китайцы, индийские монголы) цивилизациями в сооружениях. Римляне знали химические свойства и использовали её, например в качестве отбеливающего средства и в медицине - известковая вода.

В 2008 г. известь в соответствии с требованиями рынка использовали в различных материалах и процессах. Например, известь и её производные используют в качестве флюсов при рафинировании стали, как вяжущее в строительстве. при обработке воды - для осаждения примесей. Известь широко используется для нейтрализации кислотных составляющих промышленных отходов и отходящих газов.

Известь применяют во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства, этот материал используют в повседневной жизни для самых различных целей, перечисленных в Табл. 2.1.

Таблица 2.1 Известь, многоцелевой материал – использование в некоторых отраслях промышленности [44]

Область использования	Детали применения
Охрана окружающей среды -газы	Нейтрализация хлорных и серных газообразный выбросов
	Связывание тяжелых металлов
Охрана окружающей среды -вода	Обработка жидких сбросов - обработка промышленных и шахтных сточных вод (регулирование pH, удаление соединений фосфора и азота, водообработка)
	Умягчение и удаление примесей из питьевой воды
	Обработка сточных вод
Охрана окружающей среды-отходы	Обработка медицинских и вредных отходов
	Обработка органических и неорганических шламов
Охрана окружающей среды -загрязненная почва	Регулирование pH, связывание сульфатов, фосфатов и тяжелых металлов
Строительные и гражданские работы	Производство кирпича и строительных блоков
	Кладочные и штукатурные составы для фасадов зданий
	Стабилизация грунта и дорожные покрытия
Сельское хозяйство	Обработка почв - регулирование pH почвы для обеспечения наилучшего урожая
Производство стали и цветных металлов	При производстве стали для снижения содержания серы и фосфора, для регулирования вязкости шлаков, для защиты огнеупоров и формирования шлака
	В качестве флюса при выплавке из руд меди. свинца, цинка и других металлов
	Для нейтрализации и изоляции проволоки после её очистки кислотой

Химическая и бумажная промышленность	При производстве бумаги - обработка пульпы и сырья для осаждения карбоната кальция
	Присадки к нефти для производства смазочных материалов(сульфонатов, фенолятов, салицидов
	При производстве пластиков, используемых в качестве осушителя при нефтехимических процессах
	В качестве дубителя при обработке кожи
	При производстве стекла и соды
Фармацевтика, личная гигиена и питание	В качестве основы лекарств
	При производстве фосфата кальция и добавки в зубную пасту
	При производстве пищевых добавок
	При производстве сахара для осаждения примесей из сахарной свеклы и тростника, а также для нейтрализации запаха, возникающего при обработке сахарной свеклы

2.1.2 Мировое производство извести

В 2006 г. мировое производство извести, включая технологическую известь, оценивалось в 172 млн. т (см. Табл. 2.2).

Таблица 2.2 Оценочные данные о мировом производстве негашеной извести и доломита в 2006 г. в ЕС-25 (включая технологическую известь) [44, 168]

Страна	Годовое производство	
	млн. т	%
Бразилия	6	3,5
Китай	75	43,6
Страны ЕС-25	28	16,3
Остальные европейские страны	2	1,2
Индия	4	2,3
Япония	10	5,8
Мексика	4	2,3
РФ	8	4,7
США	20	11,6
Остальные страны	15	8,7
Итого	172	100

2.1.3 Географическое распределение и общее экономическое состояние в Европе - основные показатели

2.1.3.1 Годовой выпуск продукции

Ведущими производителями извести в ЕС-27 являются Германия, Франция, Поль-ша, Бельгия, Испания и Италия; в этих странах производится около 20 % выпускамой в мире извести. В четырех членах ЕС - Кипр, Мальта, Нидерланды и Люксембург - известь не производится. При том, что структура известковой промышленности в различных странах ЕС различна, в них преобладают небольшие и средние компании. В ЕС действует несколько больше 100 таких компаний. Большинство их небольшие, часто владеющие лишь одним предприятием. Однако в последние годы наблюдается растущая тенденция к концентрации производства при наличии небольшого количества транснациональных компаний, контролирующих значительную долю рынка. Рис 2.1 иллюстрирует состояние европейского рынка в ЕС-27 в 2004 г., объединяющего производителей 25 млн. т извести при суммарном выпуске в европейских странах 28 млн. т, в это количество входит как используемая для технологических целей, так и товарная известь.

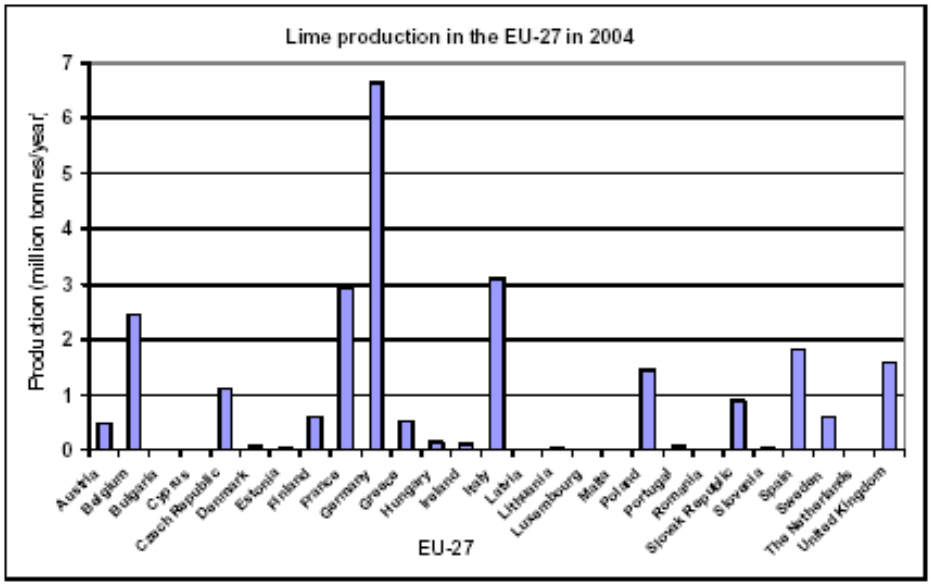

Рис 2.1 Производство извести и доломита в странах ЕС-27 в 2004 г. [44]

В конце 80-ых годов производство извести в странах ЕС снизилось и только в течение 1994 г. вновь выросло. Это было следствием изменений приоритетов потребления. Один из основных потребителей извести - производство чугуна и стали – сократил удельный расход извести на производство стали со 100 до 40 кг. Однако в середине 90-ых годов увеличение расхода извести для защиты окружающей среды привели к новому увеличению спроса на известь.

Впоследствии суммарное потребление извести ЕС стабилизировалось: увеличение потребления извести для водообработки и для десульфуризации отходящих газов только частично компенсировалось снижением её расхода при производстве стали и в других секторах металлургии.

Известь - недорогой порошкообразный материал, и поэтому существует тенденция транспортирования её на относительно небольшие расстояния. Экспорт извести из ЕС составляет только нескольких процентов от её выпуска. Оценка распределения потребления извести в странах ЕС-27 в 2004 г. по различным секторам рынка приведена в Табл. 2.3.

Таблица 2.3 Распределение потребления товарной извести по секторам рынка в странах ЕС-27 в 2004 г. [44]

Сектор рынка	Потребление ,%

Производство стали и цветных металлов	30-40
Охрана окружающей среды, сельское хозяйство, лесоводство.	30
Строительство и стабилизация глинистых почв	15-20
Прочие: химия, очистка цветных металлов, бумажное производство, пищевая промышленность, личная гигиена	10 -15

2.1.3.2 Основные факторы, характеризующие охрану окружающей среды и устойчивое развитие

Основными факторами, характеризующими охрану окружающей среды при производстве извести являются: потребление энергии, выбросы CO_2 при её производстве, контроль загрязнения воздуха (запыленность), усовершенствование постов перегузки и транспортирования [44].

Факторы, характеризующие устойчивое развитие, при добыче больших количеств сырьевых материалов для производства извести связаны с наличием месторождений высококачественного известняка и доломита для сохранения геологических запасов в течение отдаленного будущего. С точки зрения геологии известняк – широко распространенный каменный материал. Тем не менее, трудно найти месторождения, отвечающее следующим характеристикам:

- запасы, обеспечивающие эксплуатацию в течение 50 лет и более;
- высокая химическая чистота;
- специфические физические и механические характеристики;
- наличие благоприятной для транспортирования инфраструктуры;
- с обеспеченной защитой окружающей среды.

В Табл. 2.4 приведен прогноз использования известняка и доломита в 2030 г. по сравнению с 2003 г.

Таблица 2.4 Тенденции использования известняка и доломита в период 2003-2030 гг. [44]

Тенденция применения известняка и доломита, тренд 2003 – 2030 гг.		
Применение извести:		
Строительные материалы и промышленное использование(производство стали, бумаги, стекла, сахара, обработка почвы ,защита окружающей среды)	2003 г., млн. т/год	2030 г., млн. т/год
Использование обожженных извести/доломита	25	32
Сырье для производства извести и доломита	50	64

2.1.3.3 Виды кальциевой и доломитовой извести

Часто термин «известь» используют некорректно для характеристики полученных из известняка продуктов. Это часто вызывает недоразумения. Понятие известь относится к негашеной и к гашеной извести, и поэтому термин «известь» является синонимом термина «известковые материалы». Негашеная известь или так называемая обожженная известь представляет собой оксид кальция (CaO), получаемый при декарбонизации известняка($CaCO_3$). Гашеную известь получают при взаимодействии или «гашении» негашеной извести водой, она в основном состоит из гидроксида кальция ($Ca(OH)_2$). Понятие гашеная известь относится к гидратной извести (сухой порошок гидроксида кальция) и к известковому молоку и к известковому тесту, включающему распределенные частицы гидроксида кальция. Кальциевая известь составляет 90 % общего потребления, а 10 % - доломит.

Различные виды извести имеют разные применения. Имеются различия между кальциевой и доломитовой известью и гидратной известью. Кальциевая известь бывает в виде кусков, порошка и гидратной. Доломитовая известь более специфический материал, который встречается в виде кусков, порошка, гидрата и мертво обожженного продукта.

Гидравлические извести частично гидратированы, они содержат цементные соединения и используются исключительно в строительстве.

В настоящем документе будут обсуждаться проблемы, связанные с производством извести, не предназначенной для собственных технологических нужд.

В Табл. 2.5 приведены различные синонимы при обозначении различных видов извести и их соответствие требованиям регистра CAS (подразделения Американского химического общества - American Chemical Society CAS) и нумерации в действующем в ЕС реестре EINICS (Европейский каталог выпускаемых промышленностью химических веществ).

Таблица 2.5 Номенклатура извести в соответствии с индексами в реестрах ЕС и CAS [44]

Химический компонент	Химическая формула	Синонимы	EC#	CAS#
Оксид кальция	CaO	Известь, обожженная известь, негашеная известь	215138-9	1305-78-8
Оксид кальция и магния	$CaO{\cdot}MgO$	Доломитовая известь, доломит	253-425-0	37247-91-9
Гидроксид кальция	$Ca(OH)_2$	Гидрат кальция, гидроксид кальция, каустическая известь, гидратная известь, гашеная известь	215-137-3	1305-62-0
Тетраоксид кальция-магния	$CaMg(OH)_4$	Доломитная гидратная известь, гидроксид кальция магния	254-454-1	39445-23-3

2.1.3.4 Установки для производства извести

В 2003г в ЕС действовали 211установок, производящих товарную известь (в это число не входят производители технологической извести); в Табл. 2.6 показано их распределение по странам-членам ЕС [44].

Таблица 2.6 Производители товарной извести в странах ЕС-27 с мощностью, превышающей 50 т/сутки (2003 г.) [44, 139]

Страна		Производство кальциевой и доломитовой извести	Производство мертво обожженного доломита
Бельгия	BE	6	1
Болгария	BG	6	1
Чешская республика	CZ	5	0
Дания	DK	1	0
Германия	DE	39	1
Эстония	EE	1	0
Греция	EL	19	0
Испания	ES	22	2
Франция	FR	16	0
Ирландия	IE	1	0
Италия	IT	36	1
Кипр	CY	0	0
Латвия	LV	1	0
Литва	LT	1	0

Люксембург	LU	0	0
Венгрия	HU	2	0
Мальта	MT	0	0
Нидерланды	NL	0	0
Австрия	AT	6	0
Польша	PL	8	0
Португалия	ПТ	4	0
Румыния	RO	8	0
Словения	SI	3	0
Словакия	SK	6	0
Финляндия	FI	6	0
Швеция	SE	7	0
Великобритания	UK	6	2
Итого:		211	8

В 2006 г. на рассматриваемой территории ЕС-27 действовало 211 печей, производивших только товарную известь; это 6 основных типов печей. В Табл. 2.7 и на Рис. 2.2, 2.3 и 2.4 приведена информация о количестве печей каждого типа и их доле в производстве кальциевой и доломитовой извести и мертво обожженного доломита.

Таблица 2.7 Количество известеобжигательных печей различного типа, действовавших на территории стран –членов ЕС-27 [44, 46]

Тип печей	Количество печей
Длинные вращающиеся печи(LRK)	29
Вращающиеся печи с запечным теплообменником (PRK)	20
Регенеративные печи с параллельным потоком стандартного и мелкого материала(PFRK)	163
Кольцевые шахтные печи (ASK)	73
Шахтные пересыпные печи(MFSK)	116
Печи другой конструкции (OK)	194
Итого:	595

При этом печи другой конструкции (ОК) могут быть:

- печи с двумя наклонами шахты;
- двухшахтные печи;
- многокамерные шахтные печи;
- шахтные печи с центральной горелкой;
- шахтные печи с выносной топкой;
- шахтные печи с внутренней балочной горелкой;
- печи, оборудованные движущейся решеткой;
- печи с декарбонизатором;
- печи с вращающимся подом.

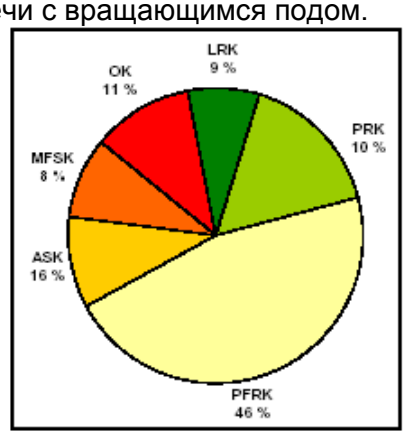

Рис. 2.2 Доля производства товарной извести в печах различного типа в странах ЕС-27 в 2004 г. [44]

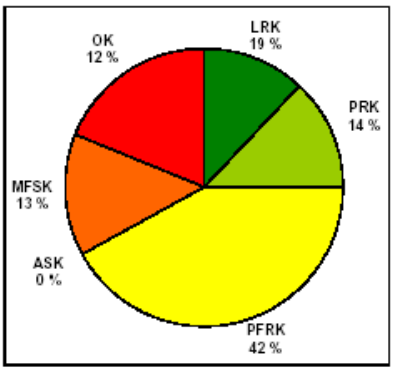

Рис. 2.3 Доля производства товарной доломитовой извести в печах различного типа в странах ЕС-27 в 2004 г. [44]

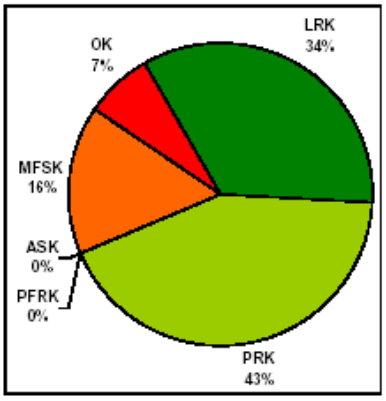

Рис. 2.4 Доля производства товарного мертво обожженного доломита в печах различного типа в странах ЕС-27 2004 г. [44]

Типичная суточная мощность печей, используемых для обжига рассматриваемых материалов, составляет 50 – 500 т. Только 10 % печей обладают мощностью ниже 10 и выше 500 т. В Табл. 2.8 приведены данные 2003 г. о наличии печей различных типов в странах ЕС-27.

Таблица 2.8 Распределение печей для обжига товарной кальциевой и доломитовой извести по странам ЕС-27 [44, 139]

Страна		LRK	PRK	PFRK	ASK	MFSK	OK	Итого
Бельгия	BE	5	3	14	5	9	1	37
Болгария	BG	1	-	2	-	-	29	32
Чешская республика	CZ	-	2	8	-	4	2	16
Дания	DK	1	-	-	-	-	-	1
Германия	DE	1	6	15	32	64	17	135
Эстония	EE	-	-	-	-	-	2	2
Греция	EL	2	-	2	2	-	40	46
Испания	ES	3	1	34	1	1	9	49
Франция	FR	-	2	18	23	-	5	48
Ирландия	IE	-	-	1	-	-	-	1
Италия	IT	-	-	31	4	-	35	70
Кипр	CY	-	-	-	-	-	-	-
Латвия	LV	-	-	1	-	-	-	1
Литва	LT	-	-	-	-	1	1	1
Люксембург	LU	-	-	-	-	-	-	-
Венгрия	HU	-	-	3	-	-	-	3
Мальта	MT	-	-	-	-	-	-	0
Нидерланды	NL	-	-	-	-	-	-	0
Австрия	AT	-	-	3	3	1	3	10
Польша	PL	-	-	4	-	36	1	41
Португалия	ПТ	-	-	3	-	-	6	9
Румыния	RO	-	-	7	-	-	14	21
Словения	SI	-	-	-	2	-	10	12
Словакия	SK	-	4	3	-	1	13	21
Финляндия	FI	5	-	3	1	-	-	9
Швеция	SE	5	-	4	-	-	-	9
Великобритания	UK	5	2	8	-	-	6	21

29	20	163	73	116	194	595

Производство извести весьма энергоёмко, стоимость энергии составляет 30-60 % стоимости продукции. В печах используется ископаемое твердое, жидкое и газообразное топливо, а также горючие отходы и/или биомасса. Использование в качестве топлива отходов лимитируется требованиями к качеству извести. Использование отходов может повлиять на качество извести и поэтому до применения в печных агрегатах необходимо изучить свойства горючих отходов. В последние несколько лет год от года использование ископаемого топлива сокращается, а горючих отходов растет. В Табл. 2.9 иллюстрируется наблюдавшийся в ЕС-27 в 2003 г. характер распределения видов топлива для обжига извести.

Таблица 2.9 Распределение топлива, используемого в ЕС-27 в 2003 г., по видам [16, 44]

Вид топлива	Доля, %
Газ	43
Твердое ископаемое	41
Жидкое ископаемое	7
Прочие виды	-
Горючие отходы	8
Биомасса	1

При производстве извести основные выбросы в атмосферу создают печные агрегаты. Это является следствием особого химического состава сырьевых материалов и применяемого топлива. Однако на каждой стадии процесса, особенно при гидратации и в печи наблюдаются выбросы пыли. Известковые предприятия создают выбросы оксидов углерода (CO и CO_2), оксидов азота(NO_x), оксида серы (SO_2) и пыли

2.2 Технологические процессы и оборудование, используемое при производстве извести

Производство извести представляет собой обжиг карбонатов кальция и/или магния при температурах между 900 и 1200 ^{0}C, которые достаточно высоки для выделения из обжигаемого материала диоксида углерода и получения необходимого оксида ($CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$). В некоторых случаях, например, при получении мертво обожженного доломита, необходимы более высокие (до 1800 ^{0}C) температуры обжига.

Получаемый при обжиге в печи оксид обычно до подачи в силос на хранение дробят, мелют и/или рассеивают. Из силоса известь или отгружают конечному потребителю для использования в виде негашеной извести, либо подают в устройство для гидратации, где при взаимодействии с водой получают гидратную или гашеную известь.

На рис 2.5,2.6 и 2.7 показаны перечисленные ниже основные этапы производства извести [44]:

- добыча/подготовка соответствующего известняка,
- складирование известняка, складирование и подготовка топлива,
- обжиг известняка,
- обработка негашеной извести,
- гидратация и гашение негашеной извести,
- другая обработка извести,
- хранение, обработка и транспортирование извести.

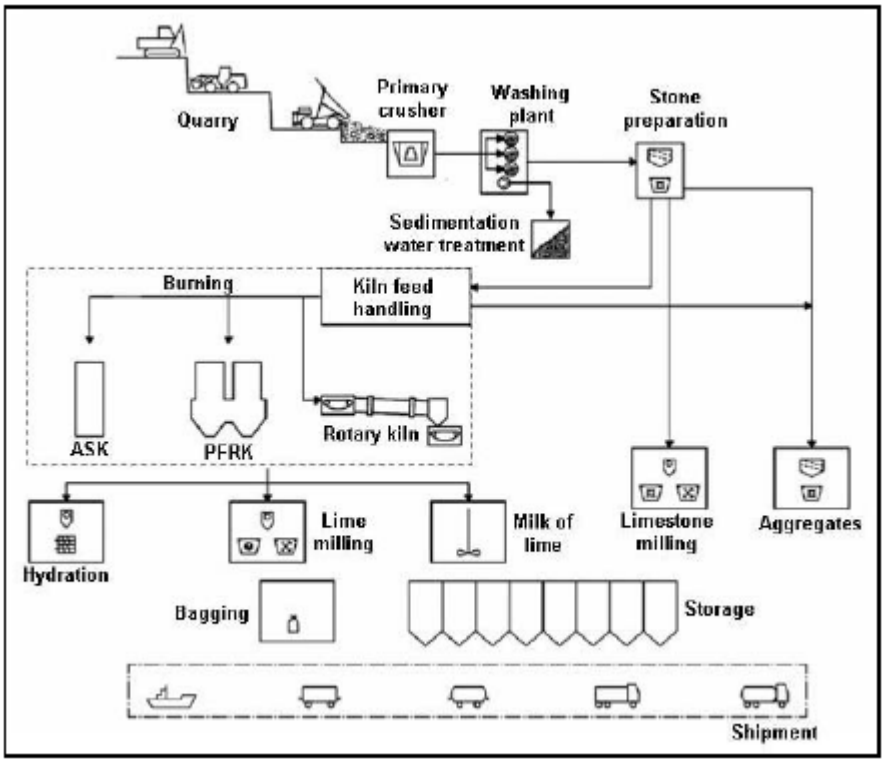

Рис. 2.5 Технологическая схема процесса производства извести

Quarry - карьер; crusher-дробилка; washing plant-устройство для промывки; stone processing-обработка камня ; sedimentation-осаждение ; kiln feed handling–осуществление питания печи ; burning-обжиг ; lime processing-обработка извести; hydration-гидратация; lime milling-помол извести; milk of lime –приготовление известкового молока; limestone milling – измельчение известняка; aggregates-каменные включения; storage-хранение; bagging-упаковка в мешки; shipment-отгрузка .

2.1.2 Общее описание процесса производства

На технологию производства извести в первую очередь влияет качество известняка, обусловленное геологической природой месторождения. Известняк обрабатывают и дозируют в печь, где он подвергается реакции термического разложения, результатом которой является получение оксида кальция и диоксида углерода. Этот «продукт», обычно называемый обожженной или негашеной известью, обычно получают на месте, а затем складируют и подвергают дальнейшей обработке. На Рис. 2.6 [44] показана схема основных этапов технологического процесса.

Эти три основные краеугольные камня «известняк», «процесс» и «продукт», формируют основу «матрицы» рассматриваемой технологии, и в зависимости от требований рынка к качеству продукции, зависят друг от друга. В различных отраслях промышленности используют известь при производстве различных материалов, она является незаменимым промежуточным продуктом при многих процессах. В зависимости от применения изменяются требования к химическим и физическим свойствам производимой извести. Требования к качеству извести формулируются, в частности, в национальных и европейских стандартах, но и напрямую согласуются между производителем и потребителем. Известковое производство должно быть всегда готово обеспечить разнообразные требования с помощью соответствующего изменения технологии, например, использованием специальных печных агрегатов и топлива.

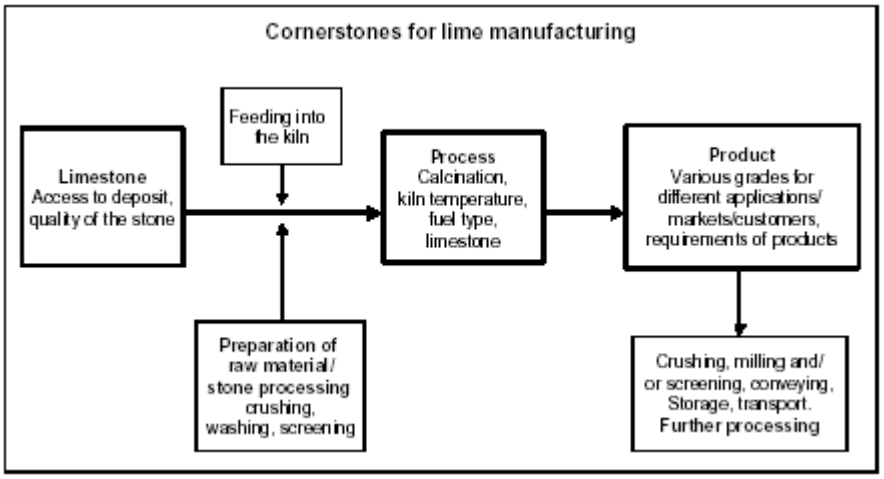

Рис 2.6 Схема основных этапов технологии производства извести
Limestone-известняк; Access to deposit -требования к месторождению; Quality of the stone-качество камня; Feeding in the kiln-питание печи; Process-процесс; Calcination-обжиг; Kiln temperature - температура в печи; Fuel type - вид топлива; Product-продукция; Various grades for different applications-различия в качестве в зависимости от дальнейшего применения; markets - рынки; customers - покупатели; Requirements of products - требования к продукции; Preparation of raw material - подготовка сырья; stone processing - обработка камня; Crushing-дробление; Washing-промывка;screening - грохочение; milling-помол; and/or- и/или; Conveying - перемещение; Storage- хранение;Transport - транспортирование; Further processing - дальнейшая обработка

Качество соответственно известняка $CaCO_3$ и доломита $CaMg(CO_3)_2$ играют особенно важную роль в производственном процессе и влияют на свойства готовой извести и её химический состав. Печная технология - вид печи и используемого топлива - оказывают существенное влияние на свойства готовой извести. Поэтому для достижения различных свойств извести в мире разработаны различные конструкции печей. С учетом использования доступного месторождения сырья и учетом требований потребителя подбирается соответствующее технологическое оборудование и/или топливо и технологический процесс.

На Рис. 2.5 и 2.7 из [16, 44] проиллюстрирован процесс производства извести.

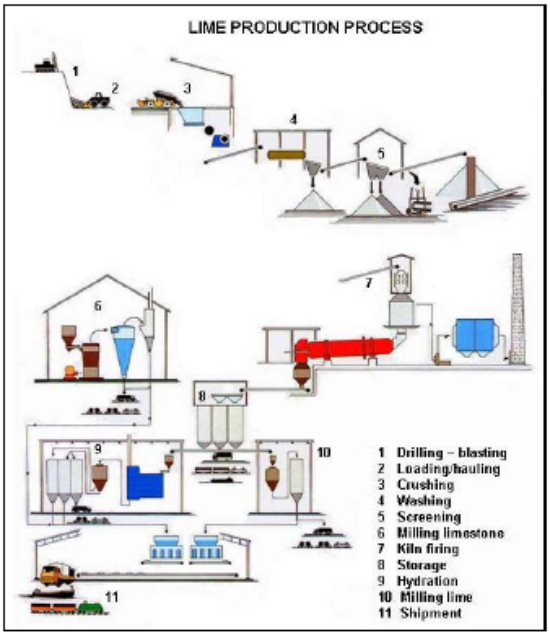

Рис 2.7 Технологическая схема процесса производства извести
1-бурение-взрывные работы;2-автосамосвал;3-дробление;4-промывка;5-грохочение;6 –помол известняка; 7-печь;8-хранение; 9-гидратация;10-помол извести;11-отгрузка.

2.2.2 Сырьевые материалы и добыча известняка

Сырьем для получения извести является известняк или в меньшей степени доломит или доломитизированный известняк. Известняк составляет около 10% мировых запасов осадочных пород.

Обычно известняк содержит более 90 % $CaCO_3$ и несколько процентов $MgCO_3$. Доломит представляет собой двойной карбонат, содержащий 54-58 % $CaCO_3$ и 40-44 % $MgCO_3$. К доломитизированным известнякам относят известняк, содержащий больше $MgCO_3$, чем известняк, но меньше, чем доломит. Возраст такого сырьевого материала, как известняк, превышает 360 миллионов лет. Хотя месторождения известняка в изобилии встречаются во многих странах, только небольшое их количество пригодно для промышленной добычи.

Известняковый камень сформирован в результате сочетания органического процесса растворения ионов кальция и диоксида углерода из организмов или неорганическим путем, включающим кристаллизацию карбоната. За этим процессом следует так называемый диагенез или превращение осадков в камень. Это комплексный процесс, включающий ряд органических, физических и химических превращений. Именно это объясняет то обстоятельство, что в зависимости от происхождения известняк существует во многих формах. В дальнейшем это проявляется в различиях зернового состава, микроструктуры, текстуры, наличия примесей и содержания карбоната.

Уровень содержания примесей или рассеянных элементов и содержание карбоната особенно важны с точки зрения различного применения известняка. В Табл. 2.10 показан типичный уровень имеющихся в известняке обычных примесей или рассеянных элементов [44]. Пример состава сырьевого материала из известняка, используемого на известковом заводе в Венгрии, приведен в Табл. 4.29 раздела 4.3.2.1 [70, 126].

Таблица 2.10 Типичные примеси и рассеянные элементы в известняке

Примеси металлов	Единица измерения	Типичный интервал значений
Кремний (как SiO_2)	%	0,1-2,0
Алюминий (как Al_2O_3)	%	0,04 -1,5
Железо (как Fe_2O_3)	%	0,02-0,6
Сера (как S)	%	0,0024-0,118
Углерод	%	0,01-0,5
Марганец (как MnO_2)	мг/кг	20-1000
Сурьма	мг/кг	0,1-3
Мышьяк	мг/кг	0,1-15
Бор	мг/кг	1-20
Кадмий	мг/кг	0,1-1,5
Хром	мг/кг	3-15
Медь	мг/кг	1-30
Свинец	мг/кг	0,5-30
Ртуть	мг/кг	0,02-0,1
Молибден	мг/кг	0,1-4
Никель	мг/кг	0,5-15
Селен	мг/кг	0,02-3
Серебро	мг/кг	0,2-4
Олово	мг/кг	0,1-15
Ванадий	мг/кг	1-20
Цинк	мг/кг	3-500

Однако для производства обычной гидравлической извести используют сырьевые материалы, содержащие 65-70 % $CaCO_3$ и $MgCO_3$. Чистота этого сырья отличается от сырьевых материалов, используемых для производства других видов извести. Более того, содержание органики, как общего углерода, намного выше и составляет 0,8-5 % [127].

Такие сырьевые материалы, как высокочистые известняки и доломиты, добывают с предварительным применением взрывных работ и в некоторых случаях перед транспортированием на завод подвергают промывке с последующим грохочением. Известняк добывают в открытых карьерах, обычно расположенных вблизи от заводов, куда сырьевой ма-

териал может транспортироваться обычным конвейером. Однако в некоторых случаях используют морские землечерпалки и даже подземные шахты. Так же возможна доставка сырьевых материалов с большого расстояния, т.е. использование судов. Основные процессы при добыче сырья следующие:

- удаление с месторождения вскрыши, представляющую собой почву, глину и разрушенный камень,
- взрывные работы,
- погрузка и транспортировка взорванной породы на дробление и грохочение.

Полезную информацию относительно процессов добычи сырья можно найти в [47].

2.2.3 Подготовка известняка, очистка и хранение

2.2.3.1 Подготовка известняка

Производство извести в первую очередь зависит от качества известняка, связанной с геологической природой месторождения. Селективная добыча может способствовать повышению качества известняка и его пригодности для процесса обжига. Если примеси и рассеянные элементы распределены неоднородно, некоторое их количество при селективной добыче, промывке и грохочении может быть удалено. Однако, если они распределены равномерно, эти процессы неэффективны. Такие свойства известняка как пористость, гигроскопичность или водопоглощение, объёмная масса, твердость, прочность и растрескивание при обжиге взаимосвязаны. Установлено, что они играют критическую роль в процессах обжига и влияют на химические и физические характеристики получающегося конечного продукта.

Для добычи известняка характерно применения бурения и взрывных работ. Взорванный известняк поступает на дробление и грохочение.

При первичном дроблении глыбы известняка часто имеющие диаметр до 1м измельчают до 100-250мм. В зависимости природы камня(твердости, слоистости, размера кусков и т.д.)для первичного дробления используют различные типы дробилок: щековые, конические и молотковые. Иногда дробильные установки располагаются непосредственно на карьере и являются мобильными.

Известняк после первичного дробления конвейером транспортируют на вибрациионное грохочение, в ходе которого выделяются крупные куски , которые направляют на повторное дробление, а прошедшие грохочение либо используют для питания печи, либо подвергают обработке в расположенных далее по ходу материала дробилках вторичного дробления.

Вторичное дробление используют для дробления материала на куски размером 5-80 мм, печная загрузка не может содержать более мелкий материал. Для вторичного дробления используют щековые и молотковые дробилки, а также молотковые мельницы.

После дробления известняк вновь подвергается грохочению и транспортируется на хранение в силосы, штабели или в бункеры. Здесь он хранится до подачи в печь, осуществляемой с помощью ленточных конвейеров и ковшевых элеваторов.

Гранулометрию дробленного и отгрохоченного известняка согласуют с требованиями печи. Общие требования к отгрохоченному материалу сводятся к тому, что идеальное соотношение размеров камня должно быть 2:1 или по крайней мере 3:1.

2.2.3.2 Складирование известняка

Отгрохоченный известняк хранят в бункерах или расположенных на открытом воздухе штабелях. Мелкие фракции обычно хранят в силосах и штабелях.

2.2.3.3 Промывка известняка

Перед подачей в печь известняк иногда промывают в моечных агрегатах или на грохоте. До 10 % от общего количества известковых заводов промывают известняк для снижения доли природного песка и глины, которые могут негативно влиять на процесс обжига и качество конечного продукта.

Промывка способствует процессу обжига тем, что создает свободное пространство, способствующее циркуляции горячих газов между обжигаемым камнем, это способствует снижению избытка воздуха и экономии электроэнергии. Необходимо совершенствовать технологию сбора известняка для лучшей промывки.

Взвешенный твердый материал удаляют из промывочной воды с помощью:

- осадительных емкостей, где невозможна рециркуляция промывной воды,
- обезвоживающих фильтр- прессов.

Очищенная любым из названных способов вода рециркулируется и вновь используется в процессе промывки, как это показано на Рис. 2.8.

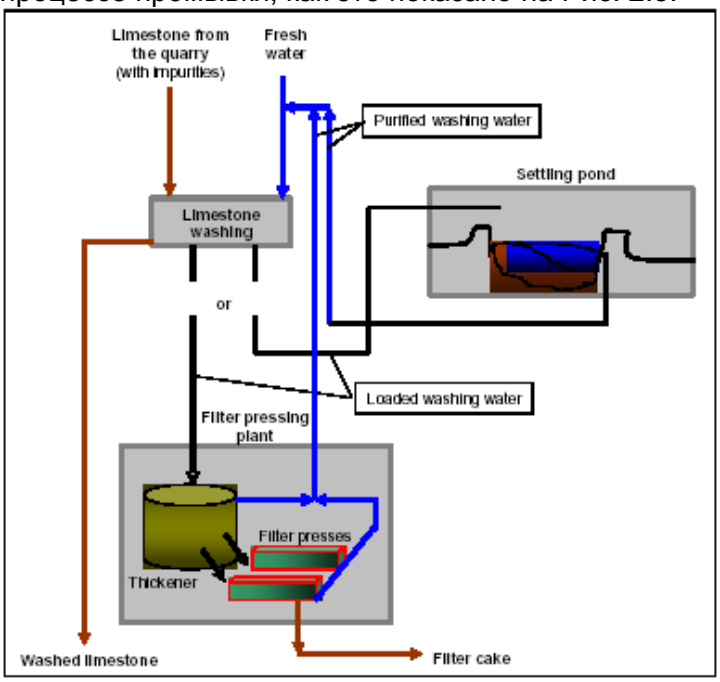

Рис 2.8 Технологическая схема промывки известняка и очистки промывных вод [46]

Limestone from quarry (with impurities)- известняк из карьера (с примесями); Fresh water-промывная вода; Limestone washing-промывка известняка; or-или ; Purified washing water-очищенная промывная вода; setting pit-осадительная ёмкость; Loaded washing water- подача промывной воды; Filter pressing plant- установка для фильтр прессования; filter presses-фильтр-пресс; Thickener- сгуститель; Washed limestone- промытый известняк; Filter cake - фильтровальный осадок .

2.2.4 Топливо, подготовка и хранение

Известковое производство характеризуется высоким потреблением энергии, стоимость которой достигает 60 % цены продукции. В обжиг извести топливо вносит необходимую для этого процесса энергию. Оно также взаимодействует с процессом: продукты горения взаимодействуют с негашеной известью. В известеобжигательных печах используют разнообразное топливо. В странах ЕС это обычно газообразное топливо (природный газ, колосниковый газ коксовых печей, твердое топливо, (каменный уголь, измельченный бурый уголь и нефтяной кокс) , кокс/антрацит, а также жидкое топливо (тяжелый или легкий топливный мазут). В качестве топлива используют и отходы – различные масла, пластики, бумагу и животную муку (измельченное мясо) или древесные опилки [44, 45, 46].

Многие печи могут работать на нескольких видах топлива, но некоторые виды топлива нельзя использовать в определенных типах печей. Для использования некоторых видов топлива необходимо установить в печи специальную футеровку. В Табл. 2.11. проиллюстрировано соотношение различных видов топлива, используемых в различных известеобжигательных печах в 2003 г. На Рис 2.9 показаны используемые виды топлива и энергозатраты в 2005 г. в странах ЕС-27

Таблица 2.11 Виды топлива, использованные в различных известеобжигательных печах стран ЕС-27 в 2003г [44, 46, 64]

Вид топлива	Детализация видов топлива	Доля топлива, использованного в известеобжигательных печах					
		LRK	PRK	ASK	PFRK	MFSK	OK
Газ (природный)	Природный газ, колошниковый газ, конверторный газ, бутан/пропан	3	26	69	64	0	51
Твердое (природное)	Уголь, нефтяной кокс, металлургический кокс, бурый уголь, антрацит	81	60	6	20	100	32
Жидкое (природное)	Тяжелый, средний и легкий топливный мазут	1	3	14	10	0	10
Отходы (природные и биомасса)	Отходы древесины, шины, пластик, отходы жидкого топлива, животная мука, костная мука	14	11	11	3	0	7
Биомасса	Древесина, отходы древесины, опилки, отходы сельского и лесного хозяйства	0	0	0	3	0	0

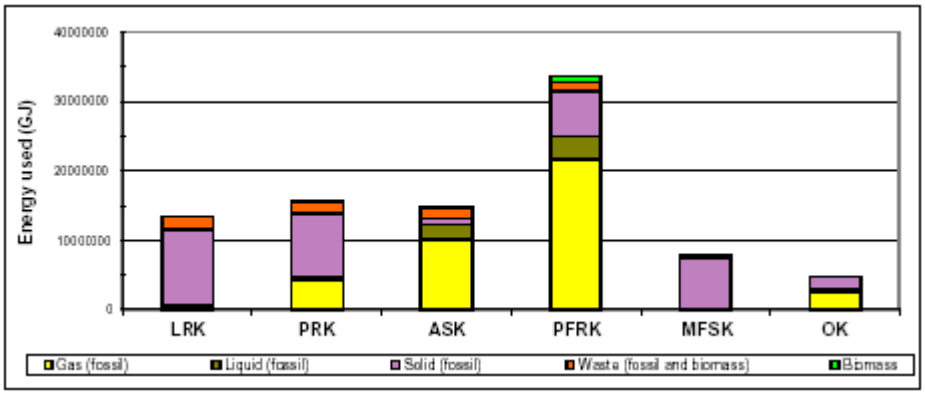

Рис. 2.9 Виды топлива, использованные в различных известеобжигательных печах стран ЕС-27 в 2005 г. [44]

Energy used, GJ - энергопотребление, ГДж ; Gas (fossil) - газ (природный); Liquid (fossil) – жидкое (природное); Solid (fossil) - твердое (природное); Waste (fossil and biomass)- отходы (природные и биомасса); Biomass-биомасса

Выбор вида топлива для обжига извести очень важен по следующим причинам:

- из-за цены топлива, которая в стоимости 1т извести составляет 30 - 60%,
- доступностью топлива на рынке,
- влияние топлива на качество извести проявляется в остаточном содержании CO_2, наличии примесей, окраске, активности, содержании серы и т.п.,
- топливо влияет на окружающую среду: на уровень выбросов диоксида и оксида углерода, дыма, пыли, диоксида серы, оксидов азота,
- обеспечивает снижение расхода первичной, природной энергии - топливного мазута и природного газа.

На рис 3.13 раздела 3.4.5 данного документа приводится сопоставление различных видов топлива, учитывающее удельную стоимость и содержание серы.

Подготовку топлива в соответствии с требованиями инжекторной системы (подогрев, диспергирование) осуществляют с учетом применения прямого или непрямого сжигания. При использовании твердого топлива обеспечивается соответствующий требованиям системы сжигания размер частиц топлива. В случае жидкого и газообразного топлива необходимо поддерживать в системе необходимое давление и температуру.

Уголь часто измельчают в угольной мельнице и хранят в силосе. При этом следует учитывать опасность взрыва угольной пыли и для этого обеспечить устойчивость силоса к ударному воздействию силой до 10 бар и применение инертного газа. Бурый и каменный уголь, а также опилки необходимо хранить таким образом, чтобы исключить их самовозгорание.

На Рис. 2.10 показан вариант дозирующего устройства для шахтной печи [44].

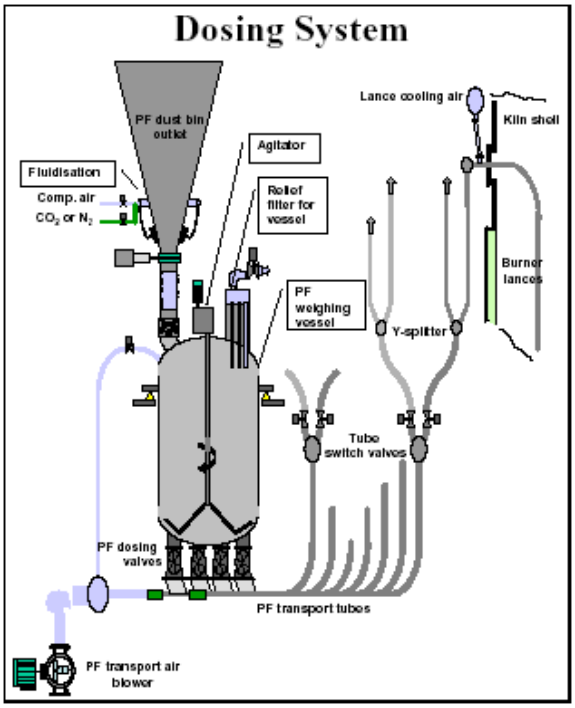

Рис. 2.10 Схема дозирующего устройства шахтной печи

PF dust bin outlet – выпуск бункера пылевидного топлива; fluidization - ожижжение; comp.air-сжатый воздух; or-или; agitator - мешалка; relief filter for vessel - взрывной клапан; tube switch valves - распределительные клапаны; PF dosing valves - дозирующие клапаны;PF transport blower - компрессор транспортирующего сжатого воздуха; PF transport tubes - трубы для пылевидного топлива; Y-splitter - разделитель; Kiln shell - корпус печи; Lance cooling air - трубка подачи холодного воздуха;Burner lances - трубки горелок

Рис. 2.11 Дозирующее устройство шахтной печи [44]

2.2.5 Использование отходов

2.2.5.1 Общие положения

Производство извести сопряжено с существенным расходом энергии, это делает расходы на топливо важнейшей составляющей цены продукции. Использование горючих отходов позволяет производителям извести снизить потребность в таких ископаемых видах топлива как газ и жидкое топливо и способствовать экономической жизнеспособности этого сектора производства в Европе. Начиная с 1997 г. европейская известковая промышленность увеличивает использование таких горючих отходов, как биомасса. Однако для использования в производстве извести к качеству горючих отходов предъявляют жесткие требования. Использование горючих отходов влияет на качество извести, это ограничивает область её применения. Во всяком случае применение горючих отходов эффективно с точки зрения затрат на их транспортировку и приобретение.

В странах ЕС на использование горючих отходов наложены различные законодательные ограничения. Они относятся к характеристикам отходов и к ряду содержащихся в отходах веществ. Во Франции, Германии и Великобритании выпущены технические условия и установлены пределы, которые от региона к региону могут изменяться. Кроме того, национальными и региональными властями установлены различные пределы и допустимое общее содержание металлов.

Как и в случае смены топлива и вследствие особых требований продукции и особенностей производственного процесса необходимо учитывать особые физические свойства горючих отходов и очень точно фиксировать их физическое состояние, теплотворную способность и химический состав. Такие высококалорийные отходы, как продукты переработки топлива, могут заменить в известеобжигательных печах первичное топливо. Поэтому важно постоянство качества отхода - соответствующая теплотворная способность, активность, низкая влажность, содержание металла, хлора и зольность. Кроме того, отходы должны быть приемлемы для горелочных устройств - многоканальных горелок.

Выбор подходящих горючих отходов определяется также требуемым качеством готовой продукции и возможностью его подачи в конкретную печь. Их выбор ограничивается:

- физическими и химическими свойствами, которые не отвечают физическим, химическим или специфическим особенностям процесса .Например, невозможно сжигать куски твердого топлива в PFRK печах,
- доступностью на рынке.

Горючие отходы должны быть доступны в достаточных количествах. Такое топливо не готовят на известковом заводе. Обычно различные виды горючих отходов или отходов с особенно высокой теплотворной способностью готовят на специальных установках таким образом, чтобы их можно было без дополнительной обработки сжечь в известеобжигательной печи. Исключение относится к фильтруемости жидкого топлива, это обусловлено необходимостью предотвращения засорения клапанов и горелок крупными кусками.

Разделения топлива на природное и отходы требует также обеспечение необходимого качества продукции и специфических требований местных условий. По этой причине для производства извести подходит лишь ограниченное число горючих отходов.

Эти горючие отходы обеспечивают лишь 4 % энергопотребления европейской известковой промышленности. В действительности в 2005 г. использование отходов в качестве топлива и/или сырьевых материалов осуществлялось лишь в семи странах, к которым, как показано на Рис. 2.12, относятся Чешская республика, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Швеция и Великобритания.

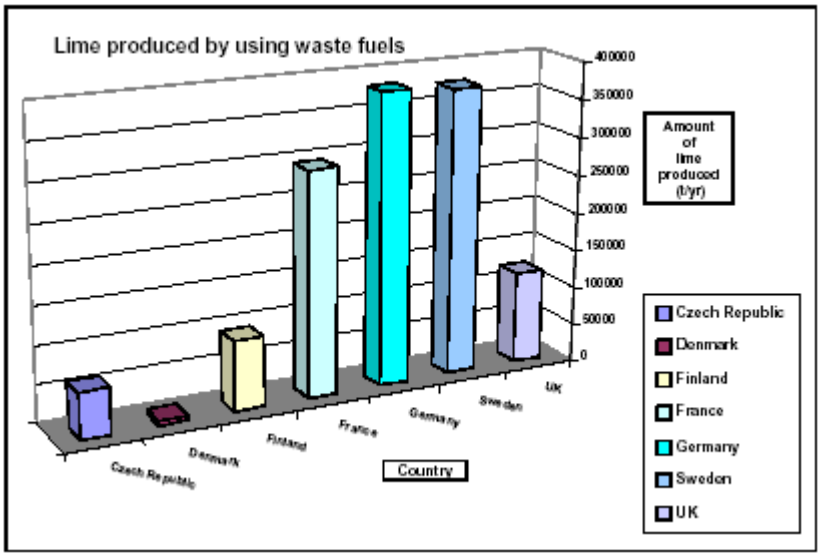

Рис. 2.12 Доля извести, произведенной в европейских странах с использованием горючих отходов [50, 51]

Полезную информацию, касающуюся обработки отходов, можно найти в справочном документе, посвященном наиболее оптимальной технологии обработки отходов, подготовленной секцией 4.5 «Технология, пригодная для приготовления отходов для использования в качестве топлива» [48].

Информацию относительно сжигания отходов можно также найти в соответствующем BREFe, посвященном наиболее оптимальной технологии сжигания отходов [87]. Дополнительную информацию можно получить Директиве ЕС по сжиганию отходов 2000/76/EC [59].

2.2.5.2 Технологические аспекты

При использовании в качестве топлива отходов процесс производства извести меняется, но не фундаментально. Известеобжигательные печи могут работать с весьма разным уровнем замещения традиционного топлива: от минимального, составляющего всего несколько процентов, до полного замещения.

Горючие отходы можно использовать во вращающихся печах, кольцевых шахтных печах, регенеративных печах с параллельным потоком и в печах другой конструкции. Выбор типа печи зависит от требований к качеству продукции и к производительности печи. На Рис. 2.13 показано количество и тип печей, использующих в европейских странах для обжига горючие отходы. Более подробную информацию можно получить в разделе 2.2.7 настоящего документа.

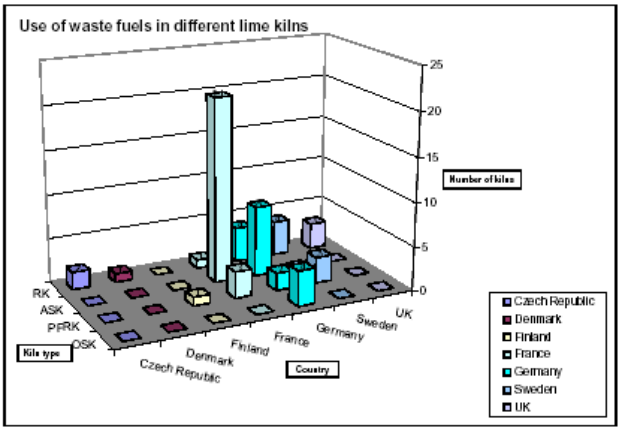

Рис. 2.13 Распределение по странам Европы известеобжигательных печей, использующих горючие отходы [50, 51]

Для сжигания во всех типах вышеупомянутых печах (кроме регенеративных печей с параллельным потоком) горючих отходов используют специальные горелки как для газообразного, так и жидкого топлива. Эти печи оснащены горелками, специально спроектированными сжигания газообразного, жидкого и твердого топлива.

Во вращающихся печах (RK) так называемые многоканальные горелки, показанные на Рис. 2.14 и 2.15, можно использовать для сжигания различного (газообразного, твердого и жидкого)топлива [50, 51].

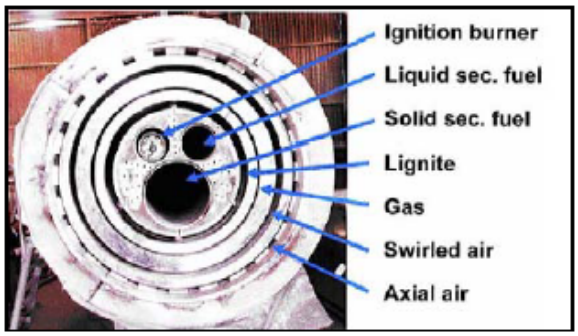

Рис. 2.14 Вид спереди многоканальной горелки, используемой во вращающейся печи

Ignition burner - горелка для зажигания; Liquid sec fuel - подача жидкого топлива; Solid sec fuel - подача твердого топлива; Lignite - бурый уголь; Gas - газ; Swirled air - завихряющий воздух; Axial air - осевой воздух.

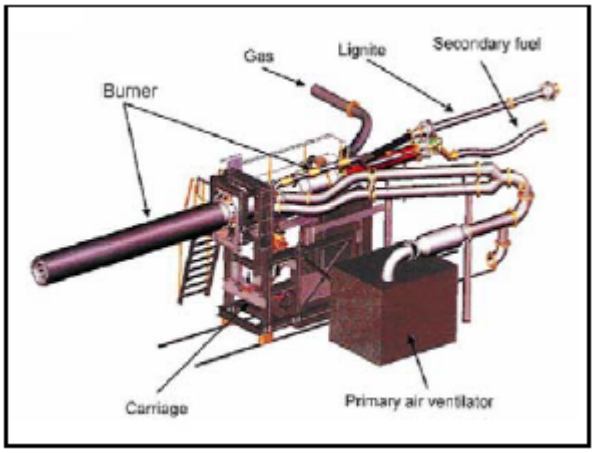

Рис 2.15 Устройство горелки для вращающейся печи [50, 51]

Burner - горелка; Gas - газ; Lignite - бурый уголь; Secondary air - вторичный воздух; Carriage - тележка; Primary air ventilator - вентилятор первичного воздуха.

2.2.5.3 Виды используемых горючих отходов

От доступности на рынке в большой мере зависит разнообразие видов горючих отходов, используемых в различных странах (Табл. 2.12).

Таблица 2.12 Виды горючих отходов, используемых в различных странах [50, 51]

Страна	Виды горючих отходов		
	Жидкие	Твердые измельченные	Твердые окускованные
Чешская республика	x		x
Дания		x	
Финляндия	x		
Франция	x	x	x
Германия	x	x	x
Швеция	x		x
Великобритания	x		

Как следует из Табл. 2.13 и 2.14, имеются различные варианты жидких и твердых горючие отходов, которые можно сжигать в печах различного вида.

Таблица 2.13 Виды жидких и твердых горючих отходов [50, 51]

Жидкие горючие отходы	Твердые горючие отходы
Отходы нефти	Твердые производные топлива
Растворители и жидкие продукты переработки нефти	Пластики (за исключением поливинилхлорида)

Животный жир	Древесные отходы Шины Костная мука

Таблица 2.14 Горючие отходы, используемые в различных печах [50, 51]

Типы печей	Виды горючих отходов		
	Жидкие	Твердые измельченные	Твердые окускованные
Длинные вращающиеся печи(LRK)	x	x	x
Вращающиеся печи с запечным теплообменником (PRK)		x	
Регенеративные печи с параллельным потоком(PFRK)	x	x	
Кольцевые шахтные печи (ASK)	x	x	x
Печи другой конструкции (OK)	x	x	

Жидкие горючие отходы можно использовать как в длинных вращающихся печах, так и во вращающихся печах с запечным теплообмененикoм, в кольцевых шахтных печах, в регенеративных печах с параллельным током и шахтных печах специальной конструкции: в обычных шахтных печах с боковой горелкой и в шахтных печах с двойным наклоном шахты. Измельченные твердые отходы можно использовать в качестве топлива во всех вышеперечисленных типах печей. Мелкие окускованные горючие отходы можно использовать во вращающихся печах (LRK, PRK) и в кольцевых шахтных печах. При сжигании горючих отходов не образуется ни твердых, ни жидких отходов.

Технология, которой пользуется поставщик для подготовки и смешивания определенных количеств отходов, зависит от их свойств и требований потребителя. Во вспомогательных подразделениях известкового производства обрабатывают – сортируют, дробят, измельчают – безопасные твердые отходы:

- однокомпонентные отходы с высокой теплотворной способностью, например, изношенные автопокрышки, животная мука;
- смеси отдельных отходов, например, отходов текстильного производства и пластиков;
- отдельная высококалорийная фракция смешанных муниципальных отходов, смешанных промышленных отходов или отходов строительства или разборки сооружений.

Жидкие горючие отходы готовят в специальных вспомогательных подразделениях смешиванием таких обладающих подходящей теплотворной способностью различных отходов, как отработанные растворители или отходы переработки нефти. Обычно в этом случае необходима лишь только простая предварительная обработка - выгрузка из ёмкости, удаление осадка и воды. В некоторых случаях, например, при обработке машинного масла/химических эмульсий, необходимо удалять металлические загрязнения и включения.

Полезную информацию относительно обработки отходов можно получить в [48].

Жидкие топливные отходы могут быть опасными. Это следует учитывать при работе (складировании, дозировании) с этим видом топлива. Поэтому для предотвращения выбросов органических соединений применяют очистку газов. Системы очистки газов работают в режиме, обеспечивающем направление потока органических веществ только в направлении присоединенной системы очистки газов. При нормальной эксплуатации благодаря соответствующим мерам безопасности система очистки газов и связанное с ней оборудование не производят выбросы в атмосферу.

Пример доставки и использования отходов переработки нефти в процессе обжига рассматривается в разделе 4.3 (производство извести).

При использовании животного жира надо иметь ввиду, что вследствие своей вязкости материал отверждается при температуре 40 ^{0}C и может забивать трубы и оборудование. Для того, чтобы использовать животный жир с температурой выше 40 ^{0}C, необходимо обеспечить дополнительный его подогрев [50, 51].

2.2.5.4 Контроль качества горючих отходов

Ввиду особых требований к качеству продукции и к производственному процессу, отходы должны обладать определенными физическими свойствами. В производстве извести можно использовать только отходы со специальными характеристиками.

Ввиду того, что высококалорийные отходы используют в известеобжигательных печах вместо традиционного природного топлива, необходимо обеспечить постоянство их качества: достаточную теплотворную способность, низкую влажность и содержания металлов, хлора и золы; кроме того, отходы должны подходить горелочным устройствам. Именно такое топливо готовят в специальных вспомогательных подразделениях.

Перед подготовкой поставщиком отход ввиду опасности загрязнения извести необходимо проанализировать с определением следующих качественных показателей: достаточная теплотворная способность, низкое содержание влаги, пониженное содержание таких загрязнений как сера, хлор и металлы. В разделе 4.3.2.2 (см. Табл. 4.30) приведены примеры допустимых загрязнений используемых при производстве извести отходов переработки нефти и животного жира. Отходы переработки топлива получают в различном, например в окускованном виде. Перед использованием для обжига в печи подготовленные и доставленные отходы также анализируют. Для анализа различных отходов используют специальное лабораторное оборудование. В разделе 4.3.4 приведен пример контроля качества твердых горючих отходов, используемых для обжига во вращающейся печи [50, 51].

В соответствии с Европейским каталогом отходов (EWC) фиксируется источник и классификация конкретного отхода [49]. В каталоге отходы классифицируют в соответствии их происхождением и свойствами и указывают категорию отходов. На EWC ссылаются во многих Директивах и Решениях ЕС, относящихся к менеджменту отходов.

Поставщик отходов должен классифицировать отходы и подтвердить, что горючие отходы пригодны для использования и имеют характеристики, отвечающие требованиям производства извести в различных печах.

В разделе 4.3.4 рассмотрен пример контроля качества и классификации отходов [44, 46].

2.2.6 Производство негашеной извести и доломита

2.2.6.1 Обжиг известняка – химическая реакция

Известь получают обжигом карбонатов кальция и/или магния при температурах от 900 до 1200 ^{0}C. Кроме того, для получения так называемого мертво обожженного доломита возможно повышение температуры до 1800 ^{0}C. Эти достаточно высокие температуры для выделения диоксида углерода и получения и получения оксида кальция или магния. Химическую реакцию термического разложения карбоната кальция часто рассматривают как «обжиг», её можно изобразить как:

$$CaCO_3 + \text{тепло} \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

100 г 56 г 44 г

Поэтому на этот процесс влияют соответствующая температура, которая, чтобы обеспечить декарбонизацию, должна быть по крайней мере выше 800 ^{0}C, и время выдержки, обеспечивающее для контроля активности достаточно продолжительное пребывание извести/известняка при температурах 1000 – 1200 ^{0}C.

Активность негашеной извести измеряется скоростью её взаимодействия с водой. Метод определения активности измельченной извести путем её гашения в воде описан в Европейском стандарте EN 459-2. Для измерения активности кусковой извести в известковой промышленности используют несколько другие методы, например, так называемый “Wuhrer- test” [44].

Активность извести зависит от ряда факторов, связанных со свойствами сырьевого материала и производственного процесса. К ним относятся:

- температура и продолжительность обжига,
- кристаллическая структура известняка,
- примеси в известняке,
- тип печи и вид топлива.

Классификацию извести по активности осуществляют с помощью следующих терминов:

- мертво обожженная,
- сильно обожженная,
- средне обожженная,
- мягко обожженная.

При стандартном европейском методе оценки активности извести измеряют так называемое время «t_{60}»,соответствующее времени, в течение которого температура смеси извести и воды (при стандартных условиях) повысится с 20 до 60 ^{0}C. Практически, чем выше t_{60}, тем ниже активность полученной извести. Однако ввиду того, что невозможно определить границы характеристик обжига извести, они не стандартизированы. На Рис 2.16 изменение t_{60} рассматривается как функция температуры обжига и природы известняка.

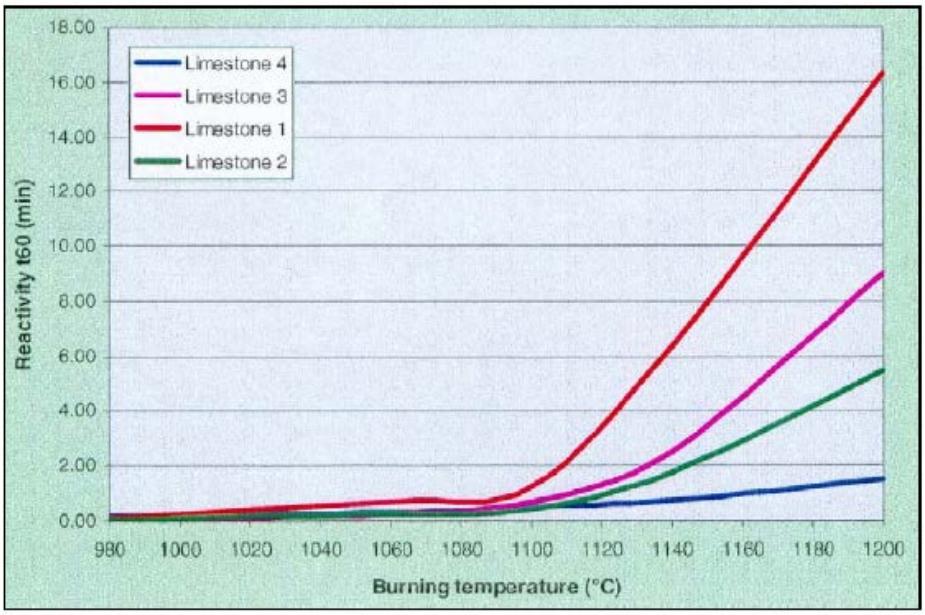

Рис. 2.16 Зависимость активности от температуры обжига и вида известняка [44]

Reactivity t_{60} (min) – активность t_{60} (мин); Burning temperature (^{0}C) - температура обжига (^{0}C); Limestone: 1,2,3, 4 - известняк: 1,2,3,4

Известь с пониженной активностью часто обозначают как средне-, сильно- и мертво обожженную. Снижение активности извести сопровождается уменьшением её поверхности и пористости в процессе спекания.

Каждый конкретный вид извести характеризуется определенной активностью, которая, в свою очередь, регламентируется областью применения и спецификой процесса произ-

водства. Как упоминалось выше, свойства извести зависят также от исходного известнякового материала, типа печи и используемого топлива. Например, при обжиге в отапливаемых коксом печах обычно получается известь со средней - низкой активностью, а в отапливаемых газом регенеративных печах с параллельным потоком получают известь, характеризующуюся высокой активностью. Спрос на известь на рынке в основном определяется её химическим составом и активностью.

На Рис 2.17 проиллюстрированы зафиксированные с помощью растрового электронного микроскопа различия в морфологии (в форме частиц) и поверхности мягко обожженной извести по сравнению с средне- и сильно обожженной [44].

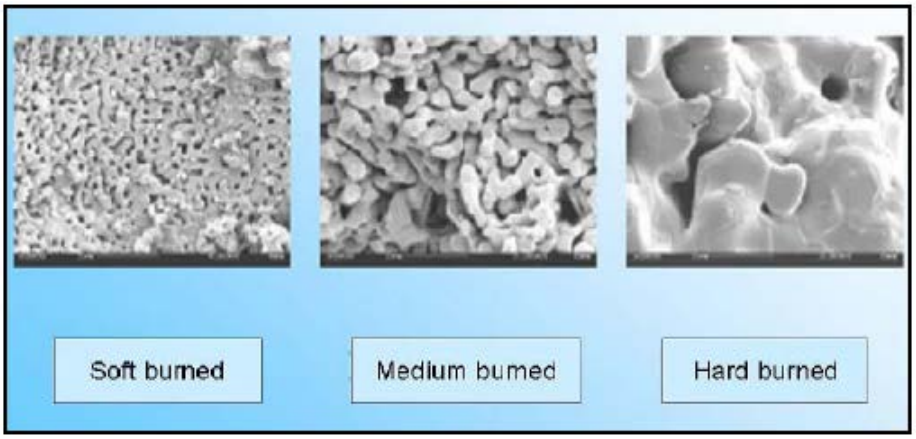

Рис. 2.17 Морфология мягко-, средне- и сильно обожженной извести

Soft burned - мягко обожженная; Medium burned – средне обожженная; Hard burned - жестко обожженная

Разложение доломитового и магнезит/доломитового известняка протекает более сложно. Разложение может проходить в одну или в две определенные стадии или через промежуточные стадии [44].

$$CaCO_3 \cdot MgCO_3 + \text{тепло} \leftarrow\rightarrow CaCO_3 \cdot MgO + CO_2\uparrow$$

184 г 140 г 44 г

$$CaCO_3 \cdot MgO + \text{тепло} \leftarrow\rightarrow CaO \cdot MgO + CO_2\uparrow$$

140 г 96 г 44 г

$$CaCO_3 \cdot MgCO_3 + \text{тепло} \leftarrow\rightarrow CaO \cdot MgO + 2CO_2\uparrow$$

184 г 96 г 88 г

Для разложения доломитов и магнезит/доломитового известняка обычно требуется обжиг при 500 - 750 ^{0}C.

2.2.6.2 Обжиг известняка в печи

Прохождение известняка (содержащего или не содержащего карбонат магния)по печи можно разделить на три стадии или зоны тепловой обработки известняка как это показано на Рис 2.18 и описано ниже:

Зона подогрева. Известняк при прямом контакте с газовой средой из зоны обжига, состоящей из продуктов горения, избыточного воздуха и получающегося при обжиге CO_2, нагревается при окружающей температуре до около 800 ^{0}C.

Зона горения или обжига. Топливо сгорает в среде подогретого воздуха, поступающего из зоны охлаждения и (в зависимости от конструкции печи) с воздухом для горения с топливом. В этой зоне создается температура превышающая 900 ^{0}C . при 800 – 900 ^{0}C начинает разрушаться поверхность известняка. При температурах, превышающих температуру разложения известняка, т.е. 900 ^{0}C, происходит разложение на большей глубине кус-

ков обжигаемого материала. При 900 ^{0}C эти куски покидают зону обжига, иногда они содержат внутри остаточный известняк. Если полностью разложившиеся куски исходного известняка продолжают оставаться в зоне обжига, происходит спекание.

Зона охлаждения. Покидающая зону обжига негашеная известь с температурой 900 ^{0}C охлаждается при прямом контакте с «охлаждающим» воздухом, при этом подогревается часть или весь воздух для горения. Покидающая эту зону известь имеет температуру намного ниже 100 ^{0}C.

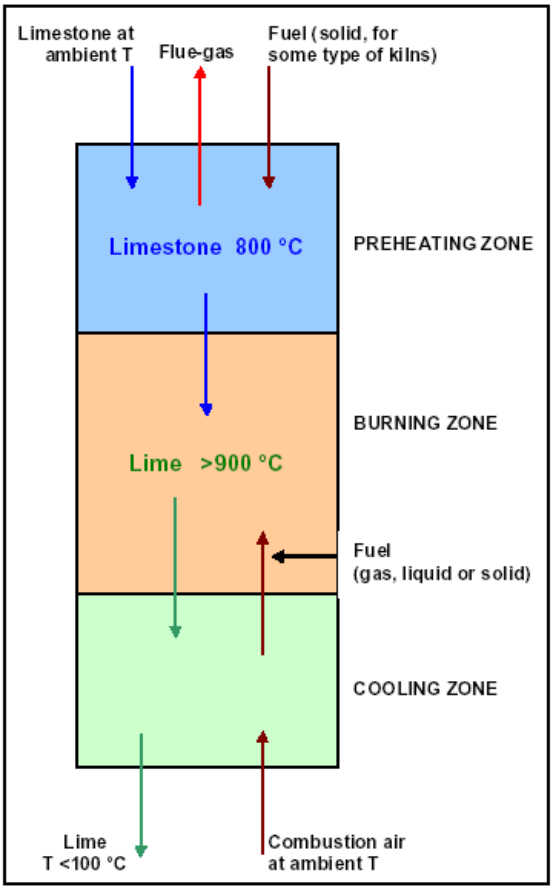

Рис. 2.18 Общие принципы обжига извести

Limestone at ambient T - известняк с окружающей температурой T;Flue gas - отходящие газы; Fuel (solid, for some type of kilns) – Топливо (твердое для некоторых типов печей); Limestone 800 ^{0}C - Известняк с 800 ^{0}C;Lime 900 ^{0} - Известь с 900 ^{0}C;Preheating zone - Зона подогрева; Burning zone - Зона горения; Fuel (gas,liquid or solid) – Топливо (газообразное, жидкое или твердое); Cooling zone - Зона охлаждения; Lime T≤ 100 ^{0}C – Известь с T ≤ 100 ^{0}C; Combustion air at ambient T - Воздух для горения с окружающей температурой T

Время пребывания в печи известняка и извести в зависимости типа печи и требований к готовой продукции различно. Продолжительность этого процесса колеблется от шести часов до двух суток.

Негашеную известь в зависимости от степени обжига относят к мягко- или слабо-, средне- и сильнообожженной. Установлено, что степень активности, т.е. интенсивности взаимодействия с водой с уменьшением пористости снижается.

Установлено, что на скорость разложения известняка в печи влияют несколько присущих известняку особенностей - его морфология, состав, а также особенности этого процесса, основными из которых являются:

- химические характеристики известняка,
- размер и форма частиц,
- температурный профиль зоны обжига,
- скорость теплообмена между газом и частицами.

Большинство используемых печей являются либо вращающимися, либо шахтными. В конструкцию других печей положены другие принципы. Но во всех печах осуществляется принцип разделения на три зоны. И при том, что в шахтных печах имеется зона подогрева, в конструкцию других печей, например, вращающихся предусмотрен специальный запечный теплообменник. В основном используется два типа теплообменников - вертикальный шахтный и с движущимися колосниками.

Большинству печных систем присущ противоток твердой фазы и газов, что предопределяет выделение загрязнений.

2.2.6.3 Производство негашеной извести

Целью производства выходящей из печи (ROK) негашеной извести является получение нескольких её сортов с различной гранулометрией и свойствами, отвечающими требованиям различных сегментов рынка. В процессе производства осуществляется ряд операций - грохочение, дробление, измельчение, воздушная сепарация и транспортирование. На хорошо спроектированном известковом предприятии обеспечивается достижение ряда целей и в том числе:

- максимальный выход основной продукции,
- минимальный выход некондиции, главным образом мелочи,
- повышение качества основной продукции, обеспечение гибкости производства, позволяющей менять номенклатуру продукции в связи с изменением рыночного спроса.

Производственное предприятие должно обеспечивать необходимые условия для хранения как конечной, так и промежуточной продукции, чтобы гарантировать создание необходимого буфера между печью, для которой оптимален непрерывный процесс, и отгрузкой, которая в ночные часы и в уикенды невелика.

Часто из ROK извести грохочением выделяют фракцию около 5мм. Если наибольший размер ROK извести превышает 45мм, его снижают с минимальным выходом мелочи. Для этой цели используют щековые и валковые дробилки. Затем дробленую ROK известь подают на многоситовой грохот, где отделяется мелкая (меньше 5 мм) фракция и гранулированная или «галечная» известь фракций 5 - 15 и 15 - 45мм.

Продукцию складируют в бункерах, из которых её отгружают непосредственно или направляют на другую установку для измельчения и гидратации.

2.2.6.3.1 Производство измельченной негашеной извести

Начиная с пятидесятых годов XX века, быстро растет спрос на различные сорта молотой негашеной извести. Требуемая гранулометрия варьируется от относительно грубой, используемой для стабилизации грунта, до очень тонкой, применяемой для специальных целей.

Грубая продукция получается относительно просто при одном проходе материала через молотковую мельницу. Мелкую продукцию получают в шаровой или в вертикальных валковых мельницах. Многие помольные установки оборудуются системой воздушной классификации.

2.2.6.4 Производство гашеной и/или гидратной извести

Гашеную известь подразделяют на гидратную известь - порошок гидроксида кальция, известковое молоко и известковое тесто - дисперсию гидроксида кальция в воде.

2.2.6.4.1 Производство гидратной извести

Гидратация извести состоит в добавлении воды к находящемуся в гидраторе оксиду кальция. Дозировка воды должна примерно вдвое превышать необходимое для реакции гидратации её стехиометрическое количество. Избыток воды вводят для снижения температуры в результате тепловыделения, сопровождающего рассматриваемую ниже реакцию:

$$CaO + H_2O \leftarrow \rightarrow Ca(OH)_2$$

56 г 18 г 74 г

Существует множество типов гидраторов, но сам процесс принципиально можно описать, как схематически показано на Рис 2.19. Гидратор, например, состоит из вращающихся лопастей, которые энергично перемешивают известь в присутствии воды. При этом протекает сильная (1,14 МДж/кг оксида кальция) экзотермическая реакция. Процесс гидратации отрегулирован таким образом, что конечный продукт представляет собой сухой порошок. После гидратации продукт поступает на классификацию. Некоторые или особенно крупные фракции могут складировать или подвергать повторной обработке. Готовую продукцию хранят в силосах.

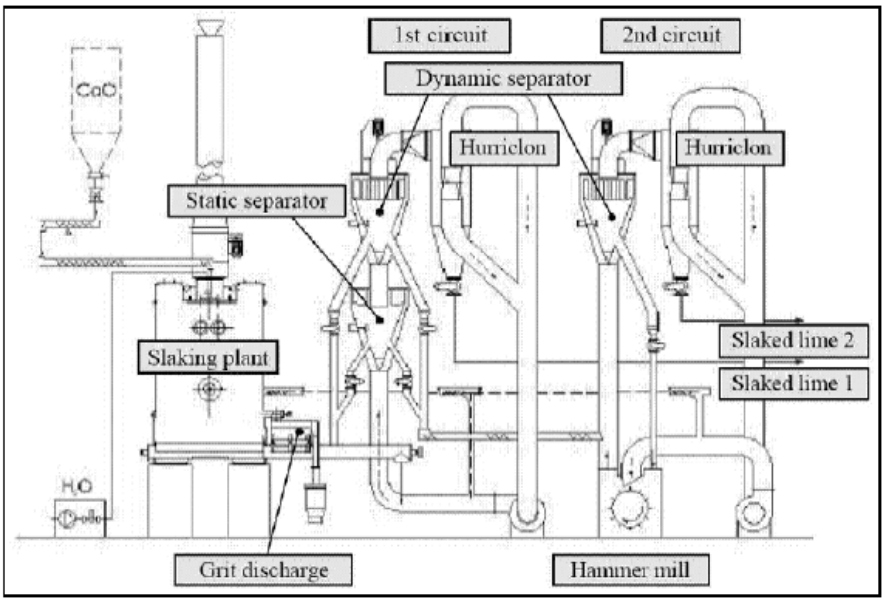

Рис. 2.19 Технологическая схема гидратора извести [16, 168]

Circuit - контур; Dynamic separator - динамический сепаратор;Static - статический; Slaking plant - гидратор; Slaked lime - гашеная известь; Grit discharge - каменная мелочь; Hammer mill - молотковая дробилка

В некоторых конструкциях гидраторов для повышения качества гидратной извести предусматривается удаление некачественного - более крупного и обогащенных карбонатом материала. Его, по возможности, используют в определенных продуктах. Ну а в противном случае - отправляют на свалку.

2.2.6.4.2 Производство известкового молока и известкового теста

Известковое молоко и известковое тесто производят при гашении извести избытком воды. Гашение осуществляют в гидраторах - установках периодического и непрерывного действия. Понятие «известковое молоко» используют для описания жидкой суспензии гашеной извести в воде. Известковое молоко может содержать до 40 % твердого материала. Известковое молоко с повышенным содержанием твердого материала иногда называют известковым шламом. Известковое тесто представляет собой густую дисперсию гашеной извести в воде. Известковое тесто обычно содержит 55 – 70 % твердого материала. Понятие «известковое тесто» иногда используют применительно к полужидкому тесту.

Известь как гидроксид в виде суспензий в воде (в форме шлама) или как тесто используют для многих целей, например, в строительных растворах, в химических реагентах.

Как правило, потребители извести предпочитают работать с гидратной известью в виде распределенного в воде порошка, а не гасить негашеную известь. Гашение весьма сложный экзотермический процесс, для проведения которого необходимо специальное оборудование, использование которого потребители извести предпочитают избегать. Более того, гидратная известь предпочтительнее негашеной, которая немедленно взаимодействует с влагой. И наконец, процесс гидратации позволяет повысить качество продукции за счет удаления необожженных (содержащих $CaCO_3$) крупных частиц или других крупных включений.

2.2.7 Типы известеобжигательных печей - конструкции и технология

С годами в мире накоплен огромный опыт использования различных конструкций печей. Хотя в последние годы на рынке доминирует относительно небольшое количество вариантов конструкции печей, для специальных целей возможно подыскать много альтернативных решений. При выборе печной технологии необходимо учитывать такие свойства известняка, как прочность до и после обжига, доступный вид топлива и качество продукции. Многие производители извести применяют два и более типа печей, используют для их питания известняк различных размеров и выпускают известь различного качества; это обеспечивает более полное использование природных ресурсов, что способствует лучшему сохранению окружающей среды.

Существует шесть основных типов печей, используемых при производстве извести. В основном выбор типа печи определяют следующие факторы:

- природа месторождения:
  - характеристики, доступность и качество известняка,
- гранулометрия поступающего материала:
  - механические свойства печного питания,
  - наличие мелочи,
- требования покупателя к качеству извести,
- мощность печи
- доступность топлива (включая горючие отходы),
- стоимость (топлива, инвестиций и эксплуатации).

В Табл. 2.15 приведены данные, характеризующие производительность и крупность известняка, используемого для питания различных типов печей. Срок эксплуатации печей составляет 30 - 45 лет.

Таблица 2.15 Эксплуатационные характеристики различных известеобжигательных печей [16, 44]

Тип печей	Обозначение	Диапазон мощности, т/сутки	Размер кусков питания, мм
Длинные вращающиеся печи	LRK	160-1500	2-60
Вращающиеся печи с запечным теплообменником	PRK	160-1500	10-60
Регенеративные печи с параллельным потоком материала	PFRK	100-600	10-200
Кольцевые шахтные печи	ASK	80-300	10-150
Шахтные пересыпные печи	MFSK	60-200	20-200
Печи другой конструкции	OK	10-200	20-250

Выбор типа обжиговых печей зависит непосредственно от физико-химических характеристик извести. Другими показателями, влияющие на выбор печи являются:

- вид и доступность топлива,
- производительность печи,
- стоимость инвестиций,
- влияние на окружающую среду.

В Табл 2.16 приведены типы печей, обычно используемых для производства специальных видов извести.

Таблица 2.16 Соотношение между типом печей и видом обжигаемой в них извести [44]

Активность	t_{60} 3) ≤3мин						t_{60} 3) ≥3 мин					
Ганулометрия известняка,мм	≤ 20мм		20 - 60мм		≥ 60мм		≤ 20мм		20 - 60мм		≥ 60мм	
Содержание в извести серы	C 1)	H 2)	C 1)	H 2)	C 1)	H 2)	C 1)	H 2)	C 1)	H 2)	C 1)	H 2)

Длинные вращающиеся печи (LRK)				+[4]	O[5]	+[4]	
Вращающиеся печи с запечным теплообменником (PRK)				+[4]	+[4]		+[4]
Регенеративные с параллельным потоком материала (PFRK)	+[4]	+[4]	O[5]				
Кольцевые шахтные печи (ASK)		+[4]					+[4]
Шахтные пересыпные печи((MFSK)							O[5]
Печи другой конструкции (OK)	+[4]	+[4]	+[4]	+[4]		+[4]	

1) C - среднее ≥ 0,05%
2) H - низкое ≤ 0,05%
3) t_{60} - показатель активности извести, повышение температуры от 20 до 60 ^{0}C при взаимодействии с водой
4) Наиболее часто используемые
5) Используемые при определенных условиях

В Табл 2.17 приведена информация о требованиях различных секторов рынка или групп потребителей к активности извести. Важнейшими рыночными характеристиками извести являются её химический состав и активность.

Таблица 2.17 Требования различных сегментов рынка к свойствам извести [44]

	Потребители	Доля (%) продаж в 2003 г.[1]	Свойства извести: Активность		Химический состав		Содержание серы
			t_{60}[2] ≤ 3[3] мин.	t_{60} ≥ 3[3] мин.	Очень чистая	CL 70-80[4]	
	Отрасль промышленности						
I	Чугун и сталь	39	x		x		x
	Цветная металлургия.	3					x
	Химия	10	x		x		x
	Прочие, например, бумажная	6					x
II	Строительные материалы (производство)[6]	3		x		x	
III	Строительные материалы (торговля)[6]	17		x		x	
IV	Охрана окружающей среды[6]						
	1. Обработка отходящих газов						x
	2. Обработка воды						x
	3. Обработка канализационных стоков	16					x
V	Сельское хозяйство	2					

Свойства доломитовой извести

	Потребители	Доля (%) продаж в 2003 г.[1]	Активность	Хим.состав: Очень чистая	Хим.состав: CL 70-80[4]	Содержание серы
I	Производство стали		x[5]			x
II	Доломитовая известь не используется					
III			Полуобожжен.		Dl 80 Dl 85[3]	

IV	Доломитовая известь не используется			
V		Полу-обж-жен.	Dl 80 Dl 85[3)]	
VI	Доломитовая известь не используется			
VII	Огнеупоры	Мерт-во-обож-жен.		x

[1)]Международная известковая ассоциация (ILA)
[2)]Реакционная активность, показывающее время подъема температуры до 60 град.С
[3)]минуты
[4)]Стандарты классификации:
CL 70 - Известь по EN 459 «Строительная известь» с содержанием CaO+MgO свыше 65%
CL 80 - Известь по EN 459 «Строительная известь»с содержанием CaO+MgO свыше 75%
[5)]Стандарты классификации:
DL 80 - Доломитовая известь по EN 459 «Строительная известь»с содержанием CaO+MgO свыше 75%
DL 85 - Доломитовая известь по EN 459 «Строительная известь»с содержанием CaO+MgO свыше 85%
[6)]спецификация используется в Англии

Шахтные печи составляют до 90 % печного парка Европы, насчитывающего 551 печь. В этом разделе описываются основные особенности шахтной печи, которые с учетом особенностей разделены на подклассы:

- шахтные пересыпные печи (MFSK) насчитывают в странах ЕС-27 116, они распространены в странах центральной Европы,
- регенеративных печей с параллельным потоком материала(PFRK) в странах ЕС-27 насчитывается 158,
- кольцевых шахтных печей (AXK) в странах ЕС-27 насчитывается 74,
- печей других типов (ОК) в странах ЕС-27 насчитывается 203.

Шахтные печи проектируют вертикальными высотой до 30 и диаметром до 6 м. В печи этого типа известняк загружают в верхнюю секцию, и он опускается вниз через внутреннее пространство печи, выходя из её основания в форме извести. Эксплуатация традиционной шахтной печи затрудняется трудностью обеспечить равномерное распределение тепла по поперечному сечению печи и равномерное продвижение материала по печи [44].

2.2.7.1 Шахтные пересыпные печи (MFSK)

В шахтных пересыпных печах используют известняк с крупностью от 20 до 200 мм с примерным соотношением размеров 2 : 1. В качестве топлива в них используют плотный малозольный кокс. По размеру куски топлива близки к известняку. Поэтому оно продвигается с камнем, проходя через его поверхность раздела вниз струйками. Камень и кокс смешивают и подают в печь таким образом, чтобы минимизировать сегрегацию. Ввиду проблем с доступностью и дороговизной металлургического кокса в печах этого типа все больше используют антрацит. На Рис. 2.21 показан принцип действия шахтной пересыпной печи, а на Рис. 2.21 - пример такой печи.

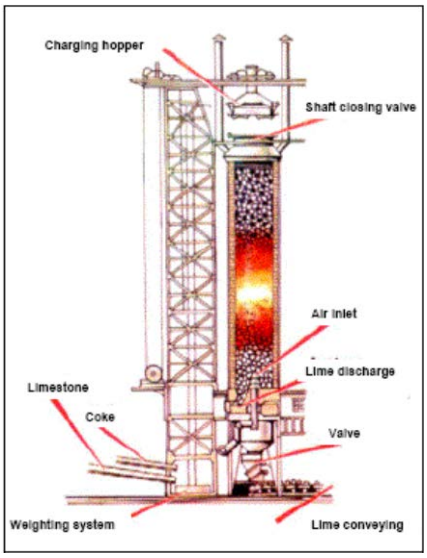

Рис. 2.20 Принцип действия шахтной пересыпной печи [44, 46]

Charging hopper - загрузочный ковш; Shaft closing valve - отсекающий клапан шахты; Air inlet - подача воздуха; Lime disharge - выгрузка извести; Sluice (valve) - клапан водовода; Limestone - известняк; Coke - кокс; Lime conveying - транспортирование извести; Weighting system - система взвешивания.

Рис. 2.21 Шахтная пересыпная печь [44, 46]

В шахтной пересыпной печи получается негашеная известь умеренного качества, которая, например, по активности уступает извести из вращающейся печи при том же уровне $CaCO_3$. При этом в известь из топлива попадает много серы. Основные технические характеристики шахтной пересыпной печи приведены в Табл. 2.18

Таблица 2.18 Технические характеристики шахтной пересыпной печи [44, 168]

Вид топлива	Смесь с известняком
Суточная мощность, т/сутки	60-200
Расход тепла, МДж/т извести	3800 - 4700
Расход эдектроэнергии, кВтч/т извести	5-15
Конструкция	Вертикальный футерованный цилиндр
Гранулометрия известняка, мм	20-200
Вид топлива	Кусковой металлургический кокс и антрацит
Воздух для горения	Только охлаждающий воздух из основания
Выгрузка извести	Вращающаяся эксцентричная пластина
Важные особенности	• Требуется однородное перемешивание камня и топлива • Требуется равномерное распределение камня по сечению • Высокое попадание в известь серы из топлива

Преимущества	• Простота • Стоимость инвестиций и эксплуатации • Удобна для производства извести с пониженной активностью • Низкий расход электроэнергии (см. Табл. 2.23 • Охлаждающий воздух используют для горения • Пониженный коэффициент избытка воздуха • Повышенное содержание CO2 для производства технологической извести осажденного карбоната кальция. в сахарном и содовом производстве,
Недостатки	• Трудность достижения однородной смеси топлива с воздухом, поэтому оно непостоянно • Технология процесса обжига сопряжена с выбросами CO • Следствием повышенного потребления крупного камня является сокращение срока эксплуатации месторождения • Невозможность изменить параметры процесса из-за его продолжительности (24ч)

2.2.7.2 Регенеративная печь с параллельным потоком материала(PFRK)

Характерной особенностью регенеративной печи с параллельным потоком материала (PFRK) является наличие двух соединенных переходным каналом цилиндрических шахт, Вместе с тем, недавно спроектирована печь с тремя шахтами, разработаны печи с прямоугольными шахтами. Обычно печи этой конструкции имеют проектную мощность 100-600 т/сутки. На Рис. 2.22 и 2.24 проиллюстрирован основной принцип действия и распределение газовых потоков в печи этой конструкции, а на Рис. 2.23 - пример такой печи.

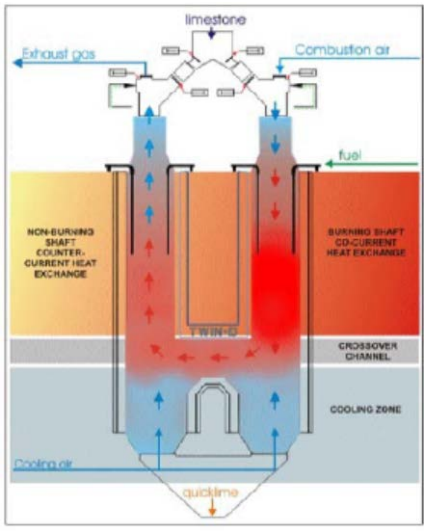

Рис. 2.22 Принцип действия регенеративной печи с параллельным потоком материала (PFRK) [44]

Рис. 2.23 Регенеративная печь с параллельным потоком материала (PFRK) [44]

Limestone - известняк; Exhaust gas - отходящие газы; Combustion air – воздух для горения; fuel-

топливо; Non-burning shaft counter - шахта в, которой не происходит обжиг; Current heat exchange - Происходит теплообмен; Burning shaft co-current heat exchange - Шахта, в которой протекает обжиг; Crossover channel - переходный канал; Twin - двойной; Cooling zone - зона охлаждения; cooling air - охлаждающий воздух; quicklime - негашеная известь

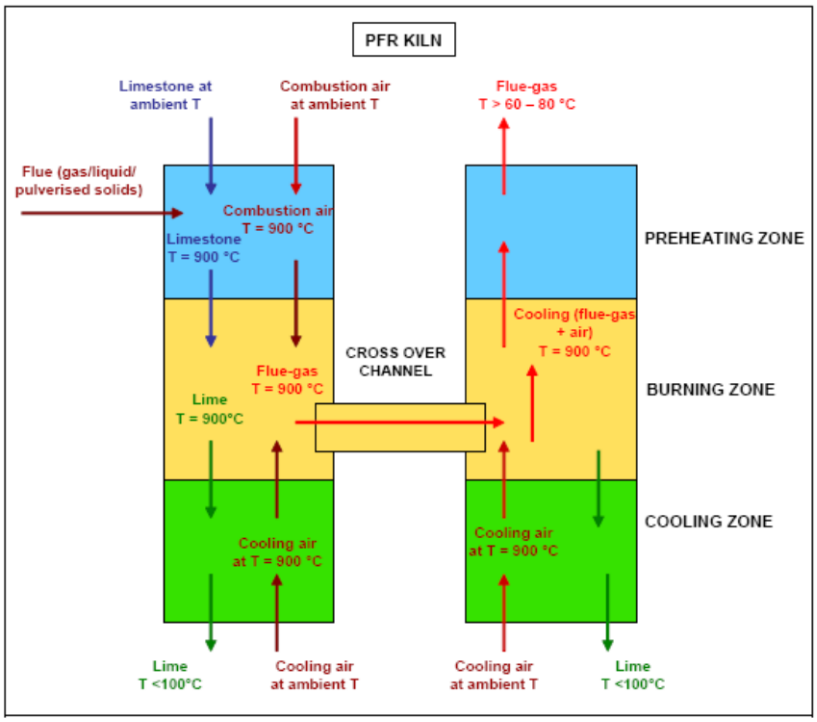

Рис. 2.24 Принцип распределения газовых потоков в PFRK печи [44]

Rer kiln - через печь; Limestone at ambient T - известняк при окружающей температуре; Combustion air at ambient T - воздух для горения при окружающей температуре; Flue-gas T ≥ 60-80 ^{0}C - отходящие газы при T ≥ 60-80 ^{0}C; Flue(gas/liquid, pulverized solids) –топливо (газ/жидкое, измельченное твердое); Combustion air T=900 ^{0}C - воздух для горения T=900 ^{0}C; Limestone T=900 ^{0}C - известняк T=900 ^{0}C; Flue-gas T=900 ^{0}C - отходящие газы T=900 ^{0}C; Lime T=900 ^{0}C - известняк T=900 ^{0}C; Cooling air at T=900 ^{0}C – охлаждающий воздух T=900 ^{0}C; Lime T≤100 ^{0}C - известь T≤100 ^{0}C; Cooling air at ambient T – охлаждающий воздух при окружающей температуре; Cross over channel - соединительный канал; Cooling (flue-gas + air) T=900 ^{0}C- охлаждающие отходящие газы + воздух T=900 ^{0}C; Preheating zone - зона подогрева, Burning zone - зона обжига; Cooling zone - зона охлаждения

Эксплуатация печей этой конструкции основана на двух ключевых принципах:

- зона подогрева каждой шахты кроме того, что подогревает камень до температуры обжига, действует как регенеративный теплообменник. Избыточное тепло газов передается камню в другой шахте в течение первой стадии процесса. Затем оно извлекается из камня воздухом, используемым для горения, который при этом нагревается до 800 оС. В результате такая печь характеризуется очень низким удельным расходом тепла.
- обжиг негашеной извести протекает при относительно умеренной температуре, обычно при 900-1100 оС. Это делает такие печи идеально пригодными для обжига извести со средней и повышенной активностью, характеризующейся пониженным содержанием остаточного CO2.

На практике порции известняка, которые загружают попеременно в каждую шахту, опускаются и, проходя через зону подогрева и огибая трубки, через которое подается топливо, поступают в зону обжига. Отсюда они попадают в зону охлаждения.

Эксплуатация такой печи при полной производительности подразделяется на два равных по продолжительности (8 - 15 мин) периода. На первом из них топливо впрыскивается по топливным трубкам в первую шахту и сгорает в атмосфере вдуваемого в эту шахту воздуха. Выделяющееся тепло частично используется на обжиг находящегося в этой шахте известняка. Для охлаждения извести снизу в каждую шахту вдувает охлаждающий воздух. Охлаждающий воздух из первой шахты в сочетании с газообразными продуктами горения

и с выделяющимся при обжиге CO_2 с температурой около 1050 ^{0}С попадает через соединительный канал во вторую шахту. Во второй шахте газы из первой шахты смешиваются с вдуваемым в неё снизу охлаждающим воздухом и поднимаются вверх. При этом они нагревают воздух в зоне подогрева второй шахты.

Если такой режим продолжается, температура отходящих газов может превысить 500 ^{0}С. Однако после 8-15мин цикла топливо - воздушную смесь в первой камере останавливают и «реверсируют». После загрузки известняка в первую шахту топливо и воздух вдувают во вторую шахту, а отходящие газы отбирают сверху первой шахты.

Печи можно отапливать газообразным, жидким и измельченным твердым топливом, а также горючими отходами или биомассой. Печи характеризуются возможностью регулирования производительности, однако при пониженной производительности снижается их тепловая эффективность. Особенностью таких печей является пониженная стойкость футеровки. Стойкость огнеупорной футеровки в зоне обжига и в соединительном канале составляет 4-8 лет.

Для стандартной PFRK печи требуется чистый камень, идеальное соотношение камня по гранулометрии, не выше 2:1. Минимальный размер камня 30 мм; модифицированные PFRK печи для мелочи могут работать с мелким (10-30мм) чистым известняком.

В Табл. 2.19 суммированы основные технические характеристики PFRK печей.

Таблица 2.19 Технические характеристики регенеративных печей с параллельным потоком материала (PFRK) [44]

Подача топлива	Через топливные трубки в слой камня
Суточная мощность, т/сутки	100-600
Расход тепла, ГДж/т извести	3,6-4,2
Расход электроэнергии, кВт·час/т извести	20-41
Конструкция	Две или три вертикальных цилиндра с огнеупорной футеровкой, соединенные каналом для циркуляции горячих газов
Гранулометрия известняка, мм	10-200
Вид топлива	Газ, жидкое, измельченное твердое, горючие отходы и биомасса
Воздух для горения	90 % подается сверху и 10 % через топливные трубы
Выгрузка извести	Вращающаяся эксцентричная пластина
Важные особенности	Очень важно обеспечить высокое качество футеровочных работ
Преимущества	• Гибкая производительность • Высокая активность извести в зависимости от свойств известняка • Отличное распределение топлива вследствие того, что каждая топливная трубка взаимодействует с небольшим поперечным сечением • Низкий расход топлива и электроэнергии(см табл.2.23) • Продолжительная(5-7 лет) компания
Недостатки	• Ограниченная гибкость процесса пуска/остановки • Не подходит камень с высокой склонностью к растрескиванию • Ограниченная возможность умеренного и мягкого обжига • Используемый огнеупорный материал самый дорогой по сравнению с другими типами печей

2.2.7.3 Кольцевые шахтные печи

Основной особенностью печей этого типа является наличие центрального цилиндра, который ограничивает ширину кольцевого пространства и вместе с арками для распределения горючих газов обеспечивает хорошее распределение тепла, как это показано на Рис. 2.25 и 2.27 .Центральная колонна позволяет направлять вниз шахты часть горючих газов из горелок нижнего яруса и вновь вдувать их в ниже расположенную камеру.

Такая рециркуляция снижает температуру у нижних горелок и обеспечивает, что завершающие стадии обжига проходят при пониженной температуре. Эти процессы способствуют получению извести с высокой активностью и пониженным содержанием остаточного CO_2. Кольцевая шахтная печь, например, показанная на Рис 2.26, может отапливаться газом, жидким и твердым топливом. Отходящий из печи газ содержит высокую концентрацию CO_2.

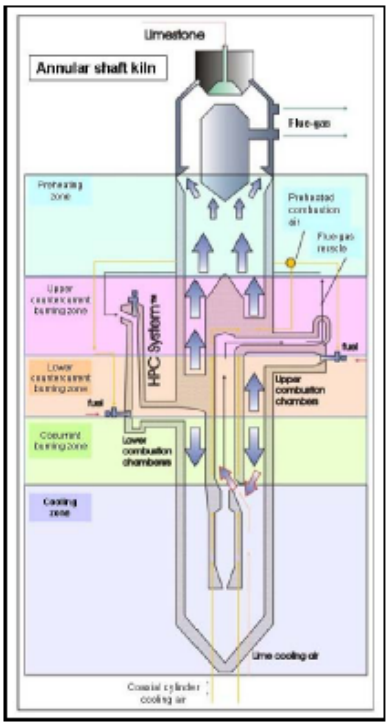

Рис. 2.25 Кольцевая шахтная печь

Limtstone - известняк; flue gas – отходящие газы; Preheated combustion air - подогретый воздух для горения; Preheated zone - зона подогрева; flue gas recycle - рециркуляция отходящих газов; Upper counter current burning zone - верхняя противоточная зона горения; Lower counter current burning zone - нижняя противоточная зона горения; Cocurrent burning zone - зона горения; Cooling zone - зона охлаждения; Coaxial cylinder cooling air - коаксиальный цилиндр для охлаждающего воздуха; Lime cooling air - воздух для охлаждения извести; Lower combustion chambers - нижние камеры горения; Upper combustion chambers - верхние камеры горения

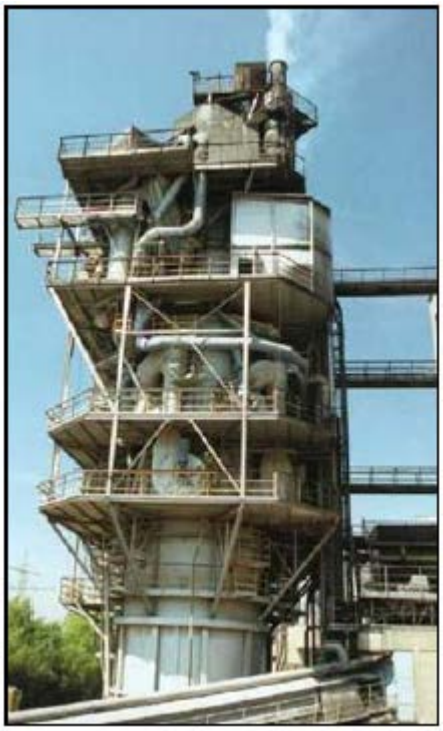

Рис. 2.26 Шахтная кольцевая печь, используемая для производства извести

В Табл. 2.20 приведены технические характеристики кольцевых шахтных печей.

Таблица 2.20 Технические характеристики кольцевых шахтных печей [44]

Вид подачи топлива	В верхние и нижние камеры горения, иногда в смеси с известняком

Суточная мощность, т/сутки	80-300
Расход тепла, МДж/т	3300-4900
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	18-35 (может составить 50 при использовании камня мельче 40мм)
Конструкция	Вертикальный футерованный цилиндр с расположенными снаружи камерами и горелками
Гранулометрия известняка, мм	(10) 40-150
Вид топлива	Газ, жидкое или измельченное твердое, горючие отходы и биомасса
Подача воздуха для горения	Сверху через трубу с обеспыливанием и использованием вентилятора
Выгрузка извести	Вращающаяся эксцентричная пластина
Важная особенность	Необходим очень строгий контроль за прохождением процесса
Преимущества	• Малое остаточное CO2 в извести • Высокая -средняя активность извести • Экономия топлива за счет регенерации • Центральный цилиндр ограничивает ширину кольцевого пространства • Хорошее распределение тепла
Недостатки	• Необходимость обслуживания рекуператора тепла и других камер • Относительно высокая стоимость инвестиций

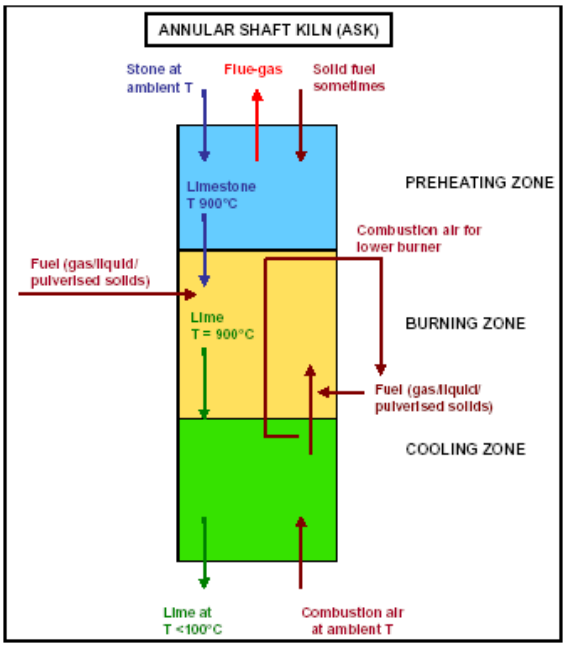

Рис 2.27 Принцип действия кольцевых шахтных печей [44]

Stone at ambient T - камень при окружающей температуре; Flue gas - отходящие газы; Solid fuel sometimes - твердое топливо иногда; Limestone T 900 ^{0}C - известняк при T 900 ^{0}C; Preheating zone - зона подогрева; Combustion air for lower burner - воздух для горения нижних горелок; Fuel (gas/liquid, pulverized solid) – топливо (газ/жидкое, измельченное твердое; Lime T 900 ^{0}C - известь T 900 ^{0}C; Burning zone - зона горения; Cooling zone - зона охлаждения; Combustion air at ambient T - воздух для горения при окружающей T

2.2.7.4 Печи другой конструкции (ОК)

2.2.7.4.1 Другие одношахтные печи

В эту группу попадает ряд не рассмотренных выше конструкций печей. В этих конструкциях топливо вводят через стенки и сжигают в зоне обжига, продукты горения поднимаются вверх в противотоке извести и известняку. В некоторых конструкциях топливо частично сжигают во внешних газогенераторах. В других оно подается через центральную горелку, балочные горелки или вдувается под внутренние своды.

2.2.7.4.2 Печи с двумя наклонами шахты

В таких печах можно получать активный содержащий мало карбоната продукт. Такая печь обычно имеет прямоугольное сечение и две наклонные секции в зоне об-жига. В расположенных напротив каждой наклонной секции компенсирующих сводах создается пространство, где в камерах горения сжигаются топливо и подогретый воздух.

Охлаждающий воздух подается в основание печи, он подогревается, удаляется и вновь инжектируется в камеры горения. Извилистые пути как газов так и шихты сочетаются в двухстороннем обжиге, обеспечивая эффективное распределение тепла. Хотя для обжига можно использовать твердое, жидкое и газообразное топливо, его необходимо тщательно подбирать, чтобы предотвратить возникновение приваров из золы топлива и сульфата кальция.

На рис 2.28 проиллюстрированы основные особенности печи с двумя наклонами шахты.

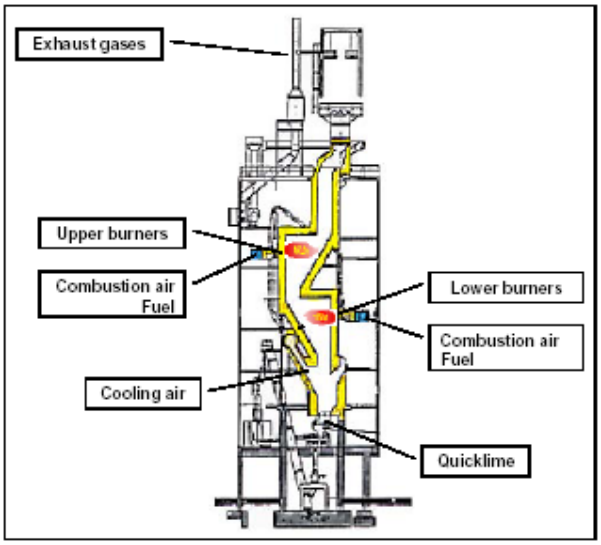

Рис. 2.28 Печь с двумя наклонами шахты

Exhaust gases - отходящие газы; Combustion air - воздух для горения; Fuel - топливо; Cooling air - охлаждающий воздух; Upper burners - верхние горелки; Lower burners -нижние горелки; Quicklime - негашеная известь

2.2.7.4.3 Многошахтные печи

Это другой вариант печи с двумя наклонами шахты. Он представляет собой четыре или шесть имеющих различный наклон участков зоны обжига, напротив которых располагаются компенсирующие своды, назначение которых такое же, как в случае печи с двумя наклонами шахты.

В зоне охлаждения известью подогревается охлаждающий воздух, который затем отбирают, отчищают от пыли и вновь инжектируют в камеры горения.

Особенностью печей такой конструкции является то, что для регулирования активности извести можно регулировать в широком диапазоне температуру в нижних камерах горения. Такие печи можно отапливать твердым, жидким и газообразным топливом, можно использовать топливную смесь.

2.2.7.4.4 Печи с движущейся решеткой

Для известняка с размером кусков в диапазоне 15-45мм используют разработанную в Германии печь с движущейся решеткой или печь CID.

В такой печи имеется прямоугольная шахта зоны подогрева, откуда известняк поступает в зону обжига. В зоне обжига известняк каскадом перемещается по пяти вибрирующим плитам, против которых располагается ряд горелок. Затем известь поступает в прямоугольную зону охлаждения.

Для обжига в такой печи можно использовать газообразное, жидкое и измельченное твердое топливо, которое обеспечивает получение мягко обожженной извести

с остаточным содержанием менее 2,3 % $CaCO_3$, Построенные на данный момент четыре печи имеют производительность 80-139 т негашеной извести в сутки.

2.2.7.4.5 Печи с надстройкой

Такие известеобжигательные печи являются относительно новой разработкой, позволяющей использовать для обжига камень с размером 10-25мм. Этот тип печи разработан в Японии.

В печи имеется кольцевая зона подогрева, из которой известняк с помощью толкающей штанги передается в цилиндрическую зону обжига. Горячие газы из центральной расположенной ниже в центре зоны подогрева отапливаемой мазутом горелки с помощью эжектора направляются в зону обжига. Готовая известь переходит в коническую зону охлаждения.

По сообщениям в печи получают высококачественную негашеную известь, отвечающую требованиям производства стали и осажденного карбоната кальция. Производительность печи 100 т негашеной извести в сутки. Ввиду небольшой высоты такой печи в ней можно обжигать низкопрочный известняк.

2.2.7.4.6 Печи для обжига в газовой суспензии (GSC)

Печи для обжига в газовой суспензии представляют собой новое решение для таких минеральных процессов как обжиг измельченных известняка, доломита и магнезита, обеспечивающее получение высокоактивного и однородного продукта. В печи в газовой суспензии протекает большинство таких процессов как сушка, подогрев, обжиг и охлаждение. В печной установке как показано на Рис 2.29 использовано стационарное оборудование с минимальным количеством подвижных деталей [53].

Количество материала, находящегося в этой системе незначительно, поэтому после обработки в течение нескольких минут получается отвечающий требованиям характеристик продукт. Не происходит потерь материала или снижения его качества при пуске или остановке, и поэтому в продукте нет некачественных включений. В GSC печах даже при большой полноте обжига получается материал с высокой активностью.

Для того, чтобы обрабатывать материал в газовой суспензии его необходимо довести до соответствующей дисперсности, необходимо исключить частицы крупнее 2 мм.

В Норвегии с августа 1986г печь GSC непрерывно используют для обжига доломита. В [53] приведены некоторые данные, характеризующие её эксплуатацию:

- производительность 430 т/сутки
- расход топлива 4,8Г Дж/ т продукции
- расход электроэнергии 33 кВтч/т продукции.

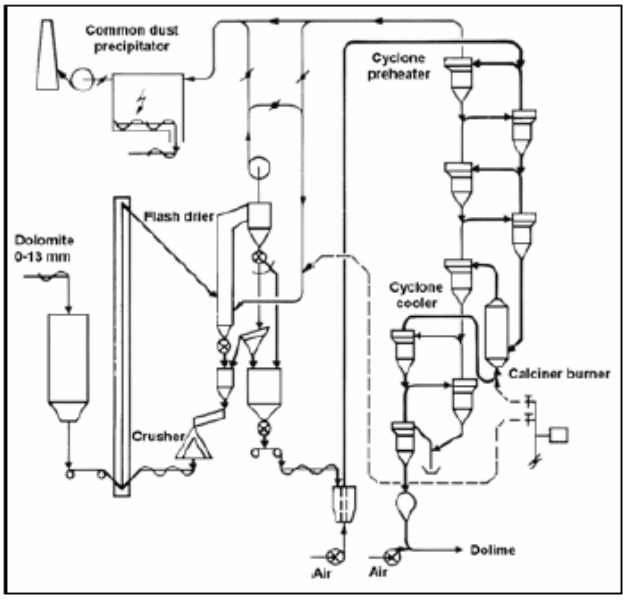

Рис. 2.29 Технологическая схема процесса в печи для обжига в газовой суспензии

Common dust precipitator - общий осадитель пыли; Dolomite 0-13mm - доломит 0-13мм; Crusher - дробилка; Flash drier - сушилка во взвешенном слое; Cyclone preheater - циклонный подогреватель; Cyclone cooler - циклонный охладитель; Calciner burner - горелка декарбонизатора

2.2.7.4.7. Печи с вращающимся подом

Этот тип печей, ныне почти полностью устаревший, предназначен для производства комовой извести. Печь представляет собой кольцевой под, на котором находится известняк. Вращающийся на поде известняк обжигают несколько горелок. Воздух для горения подогревается избыточным теплом отходящих газов и/или используется для охлаждения негашеной извести.

Ввиду пониженного по сравнению с вращающимися и шахтными печами истирания обжигаемого материала в продукте обжига печей с вращающимся подом преобладает комовая известь.

2.2.7.5 Длинные вращающиеся печи (LRK)

В странах ЕС-27 ,главным образом на севере Европы эксплуатируется 29 длинных вращающихся печей. Длинная вращающаяся печь состоит из длинного (до 150м) вращающегося цилиндра, расположенного с наклоном к горизонтали 1-4 ^{0} , его диаметр составляет 2-4,5м. Известняк загружают в верхний конец печи, а топливо и воздух для горения поступают из нижнего конца. Негашеная известь выгружается из печи в холодильник, в котором она подогревает воздух для горения. Используются различные типы холодильников извести, в том числе и планетарные, располагающиеся вокруг корпуса печи, а также движущиеся колосниковые и разнообразные противоточные шахтные холодильники.

На Рис. 2.30 показана схема технологического процесса в длинной вращающейся печи и типичный противоточный процесс обжига извести; на Рис. 2.31 показана такая печь. Основные производственные характеристики таких печей по [44] приведены в Табл. 2.21.

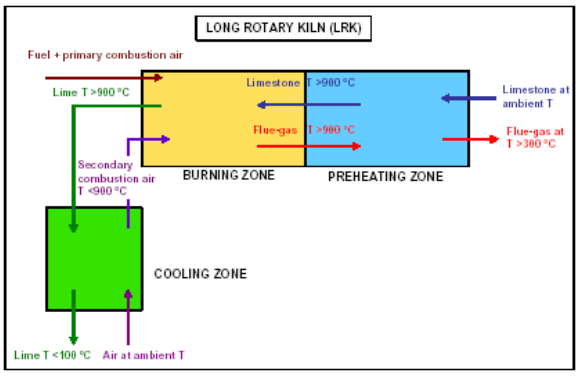

Рис. 2.30 Принцип действия длинной вращающейся печи

Fuel+ primary air – топливо и первичный воздух; Lime T≥900^{0}C – известь с T≥900^{0}C ; Secondary combustion air T≤900^{0}C-вторичный воздух T≤ 900^{0}C ; Lime T≤100^{0}C- известь с T≤100^{0}C;Air at ambient T- наружный воздух с T ;Limestone T≥ 900^{0}C- известняк с T≥ 900^{0}C; Flue gas T≥ 900^{0}C –отходящие газы с T≥ 900^{0}C ; Limestone at ambient T- известняк с наружной T; Flue gas at T≥ 900^{0}C- отходящие газы с T≥ 900^{0}C; Burning zone-зона обжига ; Preheating zone-зона подогрева ;Cooling zone-зона охлаждения

Рис. 2.31 Длинная вращающаяся печь для производства извести

Таблица 2.21 Основные характеристики длинных вращающихся печей

Способ подачи топлива	Горелка на участке выгрузки извести
Производительность, т/сутки	160-1500
Расход тепла, МДж/т извести	6000-9200
Расход электроэнергии, кВтч/т извести	18-25
Конструкция	Наклонный футерованный цилиндр, обеспечивающий перемешивание для улучшения теплообмена – длина до 150 м – диаметр 2-4,5м Внешние камеры и горелки
Тип подогревателя	Отсутствует
Тип холодильника	Планетарный вокруг корпуса печи или Движущийся колосниковый или Вращающийся барабанный или Неподвижный шахтный холодильник
Гранулометрия известняка, мм	2-60
Вид топлива	Газообразное, жидкое, измельченное твердое, горючие отходы и биомасса
Подача воздуха для горения	Охлаждающий воздух на выходе из холодильника и первичный воздух с топливом
Удаление отходящих газов	На выходе из печи со стороны подачи известняка через стадии: трубопровод, охлаждение, обеспыливание, дымосос
Выгрузка извести	На обрезе холодильника
Важно контролировать	• Качество футеровки • Гранулометрию топлива для обеспечения хорошего горения и исключить восстановительную атмосферу • Непрерывно содержание CO и O2 для обеспечения горения и безопасности
Достоинства	• Гибкая производительность • Очень быстрая реакция на изменение параметров • Широкая гранулометрия способствует более полному использованию сырьевых ресурсов • Возможно очень сильно сократить остаточное CO2 в извести • Возможность регулирования характера обжига и даже получать мертво обож-

	женный доломит • Широкий выбор топлива • Возможно использовать неприемлемый для шахтных печей слабый известняк
Недостатки	• Высокие энергозатраты (с отходящими газами и через корпус печи) • Образование т.н. колец из золы, сульфатов кальция и глины

Для эффективности и надежности эксплуатации таких печей очень важна конструкция горелки, обеспечивающих стабильность пламени при использовании различных видов топлива.

Вследствие того обстоятельства, что условия процесса можно легко и быстро изменять, длинные вращающиеся печи могут производить известь с более широким диапазоном активности и содержанием остаточного CO_2, чем шахтные печи. Во вращающихся печах можно обжигать неприемлемые для шахтных печей слабый камень и ракушечник.

Для отопления вращающихся печей подходит разнообразное топливо. Поскольку теплообмен в зоне обжига в большой степени определяется радиацией и инфракрасное излучение возрастает в ряду газ, мазут, твердое топливо; выбор топлива оказывает существенное влияние на расход тепла. Потери излучением и конвекцией в этих печах существенно выше, чем у других типов известеобжигательных печей, с этим связано существенно большее потребление тепла в этих печах.

Преимуществом вращающихся печей является то, что сера из топлива и в меньшей степени из известняка может удаляться из печи с отходящими газами при обеспечении регулирования температуры и содержания CO в зоне обжига. В результате возможно при использовании высоко серного топлива получать известь с пониженным содержанием серы и несколько увеличить содержание SO_2 в отходящих газах.

Длинные вращающиеся печи характеризуются гибкостью при выборе топлива и гранулометрии известняка, особенно его мелких фракций.

2.2.7.6 Вращающиеся печи с запечным теплообменником (PRK)

Вращающаяся печь может быть соединена с теплообменниками и за счет этого иметь существенно меньшую (40-90 м) длину, чем длинные вращающиеся печи. Вследствие снижения излучения и конвекции, а также увеличения выделения тепла из отходящих газов расход тепла в таких печах снижается.

В 2008г странах ЕС-27 насчитывалось 20 вращающихся печей с запечным теплообменником.

На рис 2.32 [40] проиллюстрированы основные особенности такого типа печей.

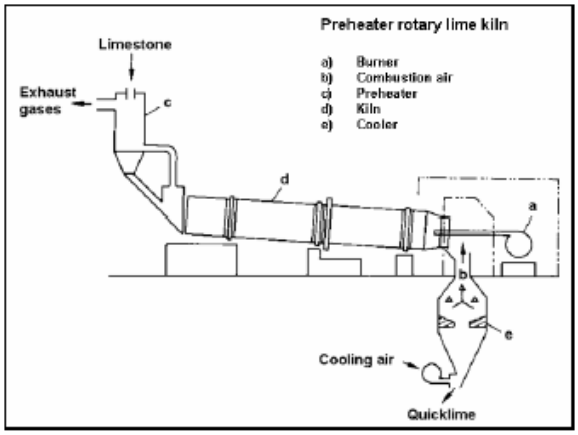

Рис. 2.32 Вращающаяся печь с запечным теплообменником

Exhaust gases-отходящие газы ; Limestone-известняк ; Burner-горелка ; Combustion air-воздух для горения ; Preheater- теплообменник ; Cooler- холодильник; Cooling air-охлаждающий воздух ; Quicklime-негашеная известь

Основную массу разработанных конструкций теплообменников составляют шахтные или оборудованные движущимися колосниками. Выбор теплообменника зависит от размера и свойств подаваемого на обжиг камня. Для большинства теплообменников допустим минимальный размер в 10 мм, некоторые допускают использование 6мм материала; в некоторых из них не допустимо использование слабого камня, склонного к разрушению.

В печах рассматриваемого типа удаление более сложно удаление серы, но имеется ряд способов достижения этой цели:

- поддержание в печи восстановительной атмосферы и подача дополнительного воздуха в заднюю часть печи (только при использовании определенных типов холодильников)
- ввод в питание достаточно тонко измельченного известняка для того, чтобы обеспечить предпочтительное поглощение SO2 и таким образом либо собрать его в расположенном задней части печи пылеосадителе, либо выделить грохочением из выгруженной из холодильника извести.

На Рис. 2.33 показана технологическая схема процесса во вращающейся печи с запечным теплообменником. На Рис 2.34 показана печь такой конструкции, а в Табл. 2.22 приведены её основные производственные характеристики.

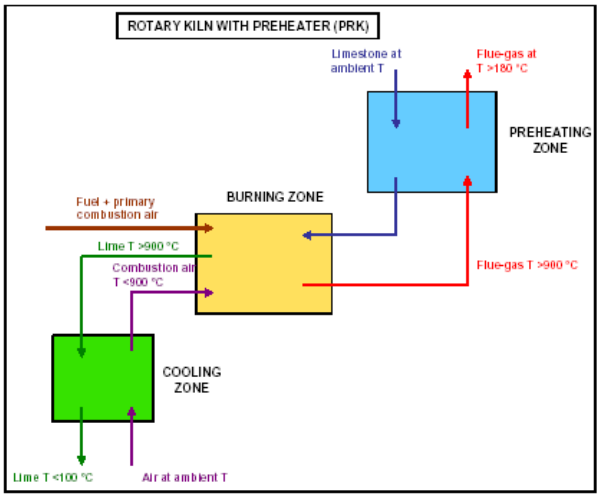

Рис. 2.33 Принципиальная технологическая схема вращающейся печи с запечным теплообменником [44]

Limestone at ambient T-известняк при окружающей T ;Flue-gas T≥ 100^{0}C - отходящие газы при ≥ 100^{0}C;Preheating zone-зона подогрева ;Fuel+primary combustion air-топливо и первичный воздух для горения; Burning zone- зона обжига;Lime T≥ 900^{0}C-известь с T≥ 900^{0}C ; Combustion air T≤ 900^{0}C- воздух для горения с T≤ 900^{0}C ; Flue-gas T≥ 900^{0}C-отходящие газы с T≥ 900^{0}C ;Cooling zone-зона охлаждения ; Lime T≤ 100^{0}C-известь с T≤ 100^{0}C ; Air at ambient T-воздух с окружающей T

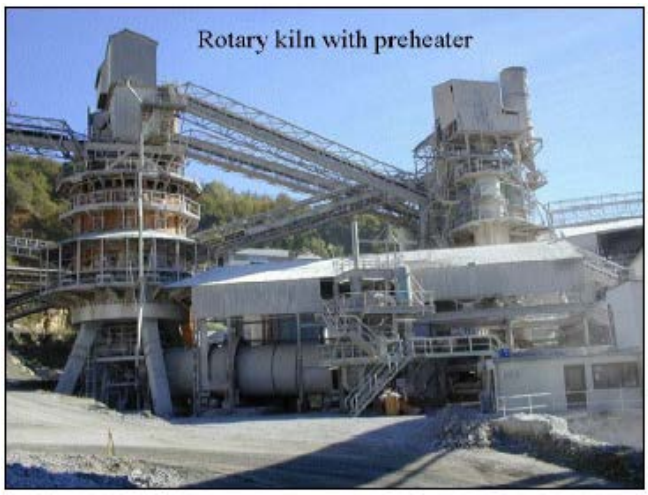

Рис. 2.34 Вращающаяся печь с запечным теплообменником [44]

Таблица 2.22 Основные характеристики эксплуатации вращающихся печей с запечным теплообменником [44]

Способ подачи топлива	Горелкой в зоне выгрузке извести
Производительность, т/сутrb	100-1500
Расход тепла, МДж/т извести	5100-7800
Расход электроэнергии, кВтч/т извести	17-45
Конструкция	Наклонный футерованный цилиндр, обеспечивающий для улучшения теплообмена перемешивание – максимальная длина до 90 м

	– диаметр 2-4,5м
Тип теплообменника	Вертикальная шахта Движущаяся решетка
Тип холодильника	Планетарный вокруг корпуса печи Движущийся колосниковый Барабанный
Гранулометрия известняка, мм	10-60
Вид топлива	Газообразное, жидкое, измельченное твердое, горючие отходы и биомасса
Подача воздуха для горения	Охлаждающий воздух с обреза холожильника
Удаление отходящих газов	Горячие газы проходят через теплообменник по газоходу, охлаждаются ,обеспыливаются и попадают в дымосос
Выгрузка извести	На обрезе холодильника
Важно контролировать	• Качество огнеупора • Гранулометрию топлива для обеспечения хорошего горения и исключения восстановительной атмосферы • Уплотнение на участке соединения теплообменника и печи • Гранулометрию известняка: наличие избытка мелочи забивает теплообменник • Содержание CO и O2 непрерывно для обеспечения горения и безопасности
Достоинства	• Гибкая производительность • Очень быстрая реакция на изменение параметров • Широкая гранулометрия сырья способствует более полному использованию месторождения • Возможно очень сильно сократить остаточное CO2 в извести • Возможность регулирования характера обжига и даже получать мертво обожженный доломит • Широкий выбор топлива • Возможно использовать неприемлемый для шахтных печей слабый известняк • Вследствие эффективного теплообмена не столь высокие требования к топливу
Недостатки	• Образование т.н.колец из золы, сульфатов кальция и глины • Теплообменник является дополнительным агрегатом, эксплуатацию которого необходимо контролировать

2.2.8 Складирование и транспортирование

2.2.8.1 Складирование

2.2.8.1.1 Складирование негашеной извести

Негашеную известь во избежание её гашения влагой воздуха предпочтительно складировать в сухом месте, в отсутствии сквозняков. Следует проявлять большое внимание обеспечению отсутствия контакта извести с водой, так как её гидратация опасна как тепловыделением, так и увеличением объёма.

Сжатый воздух для разгрузки ёмкостей можно подавать прямо в бункер, соединенный с фильтром, предназначенным для удаления пыли из транспортирующего воздуха. Этот фильтр должен обеспечивать атмосферостойкость и водонепроницаемость. Собранную пыль можно возвращать в бункер. Мерой предосторожности является создание давления/вакуума, обеспечиваемых соединенным с бункером устройством. Все используемые для хранения ёмкости могут быть присоединены к устройствам, которые должны так уплотнять основание бункера ,чтобы обеспечивать работу разгрузочного устройства.

Если количество извести недостаточно для того, чтобы использовать для хранения бункера, её можно хранить на бетонной основании, предпочтительно в изолированном помещении для того, чтобы предотвратить гашение избыточным воздухом.

2.2.8.1.2 Складирование гашеной извести

Гашеная известь поглощает из окружающей атмосферы диоксид углерода, при этом образуется карбонат кальция и выделяется вода. Поэтому наилучший способ хранения гашеной извести в отсутствии сквозняков.

Затаренную в бумажные мешки гашеную известь предпочтительно закрывать пленкой, предохраняющей разрушение гашеной извести под воздействием влаги и карбонизации. В случае использования «биг-бегов» их тоже лучше всего закрывать пленкой для предотвращения разрушения. Поддоны с гашеной известью должны хорошо сохраняться в наружной атмосфере; для этого поддон покрывают пленкой из пластика, а затем укладывают на него мешки и закрывают всё усадочной пленкой.

Порошкообразную гашеную известь хранят в силосах, которые должны быть полностью защищены от воздействия атмосферы. Силос вентилируются рукавным фильтром, который должен быть изолирован от атмосферы и должен исключать воздуха подсосы. В том случае, если фильтр установлен над силосом, собранная пыль возвращается обратно в силос. Сверху на силосе может быть установлен смотровой люк и предохранительный клапан. Для предотвращения переполнения устанавливают индикатор превышения уровня или сигнал тревоги. Рекомендуется, чтобы основание силоса имело: наклон к горизонтальному уровню не менее 60 ^{0}, разгрузочное отверстие не менее 200 мм, присоединенный отключающий клапан, обеспечивающий отключение силоса при техническом обслуживании.

Ввиду того, что гашеная известь склонна к образованию сводов, необходимо использовать такое разрушающее своды оборудование, как аэрационные плиты, вибраторы или другие механические приспособления. Наоборот, необходимо принять меры для предотвращения «литья» аэрированного порошка.

2.2.8.1.3 Складирование известкового молока

Многие покупатели, использующие в своих производствах добавку гашеной извести, полагают, что известковое молоко удобная форма её хранения и транспортирования. При условии принятия некоторых мер предосторожности её можно транспортировать как жидкость.

При использовании любой системы хранения и транспортирования следует обратить особое внимание на то обстоятельство, что когда известковое молоко разводят водой или гашеную известь диспергируют в воде с карбонатной жесткостью, происходит осаждение

карбоната кальция. Если не предприняты соответствующие меры, карбонат кальция осаждается в виде накипи на стенках труб, рабочих поверхностях роторов и корпусов насосов. Можно предложить два подхода к этой проблеме. Или система должна быть спроектирована таким образом, чтобы справляться с образованием накипи, или предпринять меры для минимизации образования накипи.

Важно предотвратить осаждение в системе известкового молока, так как образующуюся при этом вязкую массу очень трудно редиспергировать. В ёмкостях для хранения должно быть предусмотрено перемешивание. Однако для того, чтобы предотвратить завихрение, способствующего поглощению из атмосферы диоксида углерода, перемешивание не должно быть очень интенсивным.

Ввиду того, разгрузочные трубки ёмкости для хранения неизбежно образуется мертвое пространство, необходимо обеспечить их обратную промывку для удаления закупоривания

2.2.8.2 Транспортирование

Для транспортирования такой продукции пригодны различные виды существующего и разрабатываются новые виды оборудования. Используются успешно следующие типы оборудования, но не все они пригодны для универсального применения.

Скиповая загрузка подходит для всех гранулированных и кусковых материалов , но более всего для кусков крупнее 100 мм. *Элеваторы* как ленточные так и ковшевые и цепные пригодны для всех видов негашеной извести. *Скребковые конвейеры* пригодны для гранулированной и дисперсной негашеной извести. Их обычно используют для перемещения материала горизонтально или с уклоном. *Ленточные конвейеры* широко используют для горизонтального и вверх под углом перемещения кускового и гранулированного материала. Для транспортирования дисперсной негашеной извести широко используются *шнековые конвейеры*. *Виброжелобы* применяют для перемещения кускового материала размером до 40 мм. При наличии небольшого наклона от загрузочного к разгрузочному концу они работают особо успешно.

Пневмоконвейеры можно использовать для транспортирования материала с максимальным размером кусков до 20 мм, для этого оборудования характерны пониженные капиталовложения, но высокие эксплуатационные расходы. Материал подается в соединенный с воздуходувкой вращающийся запор. При проектировании внутреннего диаметра трубопровода, объёма и давления воздуха учитывают размер перемещаемой извести, скорость и расстояние её транспортирования. Приемный силос оснащается фильтром для очистки воздуха и снижающим давление клапаном.

2.2.9. Другие виды извести

2.2.9.1 Производство гидравлической извести

Природную гидравлическую известь получают кремневого или глинистого известняка, содержащего больше или меньше кремнезема, оксидов алюминия и железа. Типичное содержание в известняке SiO_2 4-16 %, Al_2O_3 1-8 % и Fe_2O_3 0,3-6 %. Суммарное содержание карбонатов кальция и магния составляет 78-92 %.

Известняк обычно обжигают в шахтных печах, процесс обжига в которых необходимо жестко контролировать так, чтобы обеспечить взаимодействие кремнезема и глинозема без образования свободной извести. Типичная температура обжига 950-1200 ^{0}C, причем по мере роста показателя гидравлической активности от слабо гидравлической до гидравлической необходимая для обжига температура возрастает.

Для того, чтобы перевести свободную CaO в $Ca(OH)_2$ обожженную известь гидратируют достаточным количеством воды. Если содержание свободной CaO превышает 10-15 %,

сильно обожженные куски измельчают в порошок. Иначе известь следует измельчать перед гидратацией. Может также оказаться необходимым измельчать гидратированный материал до определенной дисперсности и обеспечения скорости схватывания.

«Специальную» природную гидравлическую известь получают тщательным перемешиванием природной гидравлической извести с порошкообразными пуццолановыми или гидравлическими материалами. Тщательным перемешиванием порошка гидратированной природной гидравлической извести с с порошкообразными пуццолановыми или гидравлическими материалами получают искусственную гидравлическую известь.

2.2.9.2 Производство обожженного доломита

Доломит обжигают в шахтных и вращающихся печах. Качество обжига доломита характеризуют как мягко и мертво обожженный, а также - полуобожженный.

Мягко обожженный доломит обжигают в шахтных и вращающихся печах. Принципы получения мягко обожженного доломита такие же, как при производстве высоко кальциевой негашеной извести. Отличие состоит в том, что из-за меньшей температуры диссоциации $Mg(CO)_3$ подводится меньше тепла.

Мертво обожженный доломит производят двух сортов. Предназначенный для производства огнеупоров материал получают обжигом высоко чистого доломита при температурах до 1800 ^{0}C во вращающихся или шахтных печах. Доломит, содержащий 5-10 % оксида железа, обычно обжигают во вращающихся печах при 1400-1600 ^{0}C. Отходящие газы при этих двух процессах имеют более высокую температуру, чем в случае других известеобжигательных печей; для их охлаждения ниже 420 ^{0}C используют теплообменники, в которые инжектируют распыленную воду.

Полуобожженный доломит ($Ca(CO)_3MgO$) получают медленным обжигом при 650 ^{0}C. Этот продукт производится в относительно небольших количествах только в Германии.

2.2.10 Общие соображения относительно печей для обжига технологической извести

Во многих секторах промышленности – в производстве чугуна и стали, сахара и бумаги ,а также в химических производствах – необходима известь и поэтому для её производства там часто используются собственные известеобжигательные печи.

2.2.10.1 Известеобжигательные печи в чугунолитейном и сталелитейном производстве

При производстве чугуна и стали используют известь в качестве флюса в плавильных печах. В меньших количествах известь используют для получения агломерата, используемого при обжиге железной руды, при десульфурировании чугуна в чушках. Кроме того, известь используется в качестве флюса при выплавке стали и при некоторых плавильных процессах.

На чугунно- и сталелитейных производствах как правило используют шахтные печи различной конструкции и производительности. По характеристикам потребления и выбросам эти печи не отличаются от печей для коммерческого производства извести.

Полезную информацию относительно этой отрасли промышленности можно найти в [87].

2.2.10.2 Известеобжигательные печи производства картона и бумаги

В 2001 г. в европейской бумажной промышленности эксплуатировались 100 известеобжигательных печей. Всё это вращающиеся печи с суточной мощностью 30-400 т извести. В большинстве своем это длинные вращающиеся печи, но встречается некоторое количество модернизированных вращающихся печей, оборудованных запечными теплообменниками.

Для питания длинных вращающихся печей используют шлам карбоната кальция, содержащий 30 % воды. В качестве топлива здесь используют газ или мазут. Кроме того, незначительное количество газов получается на некоторых стадиях процесса варки, это увеличивает содержание в дымовых газах H_2S, органических соединений серы и SO_2. Иногда для обжига используют древесные опилки и газы, получаемые при газификации биомассы.

Для очистки отходящих газов используют скрубберы Вентури и электрофильтры.

Полезную информацию относительно целлюлозно-бумажной промышленности можно найти в [124].

2.2.10.3 Известеобжигательные печи сахарного производства

Большинство печей в европейской сахарной промышленности относится к шахтным пересыпным. Во время компании сахароварения, которая в 1997и1998 гг. продолжалась 63 и 179 дней, т.е. в среднем 86 дней, эти печи производят 50-350 т негашеной извести в сутки.

Сахарные заводы используют как негашеную известь, так CO_2. Перед использованием в сахарном производстве (для карбонизации) печные газы собирают и подвергают мокрой очистке от пыли в скруббере. Основная масса CO_2 взаимодействует с известковым молоком, в результате вновь образуется $CaCO_3$.

Основным топливом, используемым при обжиге извести, является кокс. Очень важно, чтобы в отходящих газах содержалось повышенное (40-42 % по объёму) CO_2, а в отходящих печей, отапливаемых мазутом или газом, содержится 28-32 % CO_2.

Требования сахарного производства к качеству известняка и топлива такие же, как и в других отраслях.

Информация о сахарном производстве в [125] не содержит данных о типах печей и видах топлива.

2.3 Существующие уровни потребления и выбросов

Основными воздействиями на окружающую среду, связанными с производством извести, являются загрязнения воздуха и потребление энергии. Процесс обжига извести является источником значительных выбросов и существенным потребителем энергии. Вторичные процессы - гашение извести и измельчение,а также вспомогательные - дробление, грохочение, транспортирование, складирование и выгрузка - могут внести существенный, но относительно небольшой вклад по сравнению с выбросами и потреблением энергии.

Следует отметить, что в отличие от других частей настоящего документа в данном разделе, посвященном известковому производству, стандартными для измерения объёма потоков и концентрации дымовых газов являются приведенные в Словаре параметры:

$м^3/ч$	объём потока ;в отличие от других частей документа, относится к содержанию 11 % (по объёму) кислорода и стандартным условиям
$мг/м^3$	концентрация; относится к концентрации газообразных веществ или смеси веществ в сухом дымовом газе при содержании 11 % (по объёму) кислорода и стандартных условиях
стандартные условия	сухой газ при температуре 273 ^{0}К и давлении 1013 Па

В добавлении необходимо отметить, что пределы концентрацию выбросов рассматривают относительно эталонного содержания 11 % кислорода хотя уровень реальной концентрации кислорода в процессе горения намного меньше 11 %. Ниже приведена формула для расчета концентрации выбросов:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \cdot E_M \text{, где}$$

E_R – концентрация выбросов, относящаяся к уровню кислорода 11 об. %, мг/нм^3;

O_p –уровень кислорода в смеси, об. %;

E_M – концентрация выбросов, относящаяся к измеренному уровню кислорода, мг/нм^3;

O_M – фактический уровень кислорода, об. %.

Дополнительную полезную для мониторинга информацию можно найти в справочном документе по Основным принципам мониторинга [151].

2.3.1 Потребление известняка

При производстве извести на тонну товарной извести расходуется 1,4 - 2,2 т известняка. Количество потребляемого известняка зависит от типа продукции, чистоты известняка, степени обжига и количества образующейся пыли и количества печных отходящих газов.

2.3.2 Потребление энергии

2.3.2.1 Обжиг известняка

В случае конкретной печи потребление известняка зависит от нескольких таких факторов как качество известняка, степень превращения карбоната кальция в оксид кальция, размера кусков известняка, их влажности,вида используемого топлива, конструкции печи, контроля процесса, уплотнения печи.

На диссоциацию кальциевого известняка расходуется 3,2 ГДж/т извести тепла (в случае доломитизированного известняка расход на 9 % меньше). Чистый расход тепла на тонну извести зависит от конструкции печи. Вращающиеся печи обычно потребляют больше тепла, чем шахтные. С ростом степени обжига возрастает и потребление тепла (см. раздел 2.2.6.1).

Потребление электроэнергии изменяется от низкого 5 – 15 кВтч/т извести в шахтных пересыпных печах до 20 - 40 кВтч/т извести в шахтных печах более сложной конструкции и вращающихся печах.

В Табл. 2.23 приведены типичные уровни расхода тепла и электроэнергии в известеобжигательных печах различной конструкции. Потребление тепла составляет 95 % от общего энергопотребления при производстве извести.

Таблица 2.23 Расход тепла и электроэнергии в печах различной конструкции при производстве кальциевой и доломитовой извести в странах ЕС-27 [44, 54, 64, 168]

Тип печи	Вид энергии, потребляемой на обжиг извести	
	Расход тепла, ГДж/т[1)]	Расход электроэнергии в печи, кВтч/т
Длинные вращающиеся печи	6,0-9,2	18-25
Вращающиеся печи с запечным теплообменником	5,1-7,8	17=45
Регенеративные печи с параллельным потоком	3,2-4,2	20-40
Кольцевые шахтные печи	3,3- 4,9	18-35[2)] и до 50[3)]
Шахтные пересыпные печи	3,4-4,7	5-15

Печи другой конструкции	3,5-7,0	20-40

Потребление энергии составляет около 80 % общего энергопотребления
Для известняка размером 40-150мм
3) Для известняка размером < 40мм

Следующие параметры влияют на величину энергопотребления, приведенную в Табл. 2.23:

- гранулометрия
  - до 5 %
- влажность известняка
  - до 1-10 %
- топливо (сухое, эффективность и т.д)
  - до 5 %
- остаточное CO_2
  - до 0,5-5 %
- доломитовая известь
  - на 9 % меньше кальциевой
- сильно обожженная известь
  - примерно 10 %

Содержание остаточного CO_2 в продукции может влиять на энергопотребление. С увеличением степени обжига энергопотребление растет. Остаточное содержание CO_2 влияет на применение извести: известь с содержанием до 5 % CO_2 используют при производстве стали, известь с 1,5 % CO_2 используют при десульфиризации отходящих газов.

Особым случаем является производство мертво обожженного доломита: в этом случае в зависимости от типа печи расходуется 6,5-13 ГДж/т [54].

Для снижения высокого потребления топливной энергии в различных типах печей применяют различные технические решения:

- мероприятия по оптимизации и контролю
- снижение коэффициента избытка воздуха.

2.3.2.2 Гидратация извести

Ввиду того, что процесс гидратации извести - экзотермический, для контроля температуры в гидраторе добавляют избыток воды. При недостаточном количестве воды избыточное её количество превращается в пар, поступающий в атмосферу с небольшим количеством воздуха, подаваемого в гидратор для предотвращения выбросов влаги и пыли из гидратора и питателя негашеной извести и для того, чтобы способствовать испарению избыточной воды.

Энергопотребление в гидраторе при воздушной классификации и конвейерным оборудованием составляет 5-30 кВтч/т негашеной извести.

2.3.2.3 Измельчение извести

Энергопотребление при измельчении извести колеблется от 4 кВтч/т негашеной извести (в случае более крупного материала, используемого для стабилизации грунта) до 10-40 кВтч/т более мелкой негашеной извести. Расход энергии зависит и от типа используемого оборудования. Для измельчения до более крупного материала используют молотковые мельницы. Для получения более мелкого материала используют шаровые и кольцевые мельницы и вальцы высокого давления в сочетании с дезагломераторами.

2.2.3 Выбросы в воздух

При производстве извести происходят выбросы в воздух и создается шум. Кроме того, происходят сбросы воды, наблюдается процесс потерь материала и увеличения отходов и, в редких случаях, выделения запахов. В настоящем разделе оценивается величина загрязняющих воздух выбросов, сопровождающих процесс производства извести и такие стадии процесса как хранение и транспортирование сырьевых материалов, топлива или продукции.

При производстве извести в процессе обжига происходят значительные выбросы. Наиболее существенными среди них являются:

- оксиды углерода (CO и CO_2)
- оксиды азота (NO_x)
- диоксид серы (SO_2)
- пыль.

На состав и концентрацию выбросов влияет ряд таких факторов, как:

- тип печи и её конструкция
- характер процесса и его параметры
- химический состав и качество сырьевого известняка
- вид используемого топлива
- эффективность оборудования для снижения выбросов.

Прочие выбросы в воздух в процессе производства составляют:

- хлористый водород (HCl)
- фтористый водород (HF)
- органические соединения
- тяжелые металлы
- полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны (ПХДД и ПХДБФ)
- сероводород (H_2S).

Тип печи и её конструкция

При выборе типа печи среди прочего ориентируются на возможность её использования при данной гранулометрии и природе имеющегося известняка и способности удовлетворить требования к качеству продукции.

Конструкцию печи характеризуют:

- их способность использовать специфические (по химическому составу и гранулометрии) виды известняка
- вид используемого топлива и способы подачи топлива в печь
- соотношение воздуха и топлива
- температурный профиль материала в печи
- распределение в них тепла

Ещё одним важным фактором, связанным с конструкцией печи, является соотношение газовой составляющей и твердого материала, определяющего температурный профиль печи. Оно влияет на взаимодействие некоторых (SO_2, HCl) компонентов, содержащихся в печных газах взаимодействовать с негашеной известью и известняком. Эти компоненты удаляются из газа, поглощаются продукцией и уходят из печи в виде её составляющей.

Характеристики процесса

Параметры процесса подбирают таким образом, чтобы обеспечить минимальные расход топлива и выход необожженного известняка. Точный выбор параметров процесса важен с точки зрения достижения требуемых качественных характеристик продукции и влияния на выбросы.

Химический состав известняка

На выбросы влияют содержание примесей и поведение известняка в процессе обжига. Колебание содержания серы и хлора в известняке/доломите влияет на содержание выбросов SO_2 и HCl с отходящими газами. Для обеспечения определенных характеристик продукции следует учитывать особенности типа печи и условий процесса.

Вид топлива

Вид природного топлива - твердое, жидкое или газообразное, его теплотворная способность и характеристики горения, а также содержание в нем различных компонентов, таких как сера и хлор, влияют на выбросы в воздух.

Пример предназначенной для шахтной печи дозирующей топливо установки показан на Рис. 2.10 раздела 2.2.4.

Очистное оборудование

Для снижения выбросов в воздух, например, пыли, известеобжигательные печи соединяют с очистным оборудованием. Тип очистного оборудования зависит от конструкции печи и используемого топлива. Однако выбросы пыли происходят не только в процессе обжига, но и в ходе других процессов, сопровождающих производство извести, например при грохочении, дроблении, измельчении, гидратации и упаковке.

В 2006 г. европейские производители сообщали об ежедневном уровне выбросов в воздух. В Табл. 2.24 приведена информация о наиболее характерных выбросах печей.

Таблица 2.24 Примеры характерных выбросов европейских известеобжигательных печей [54, 168]

Загрязняющее вещество	Концентрация		Выход на 1 т извести	
	Минимальная, мг/нм^3	Максимальная, мг/нм^3	Минимальная, кг/т	Максимальная, кг/т
		Включения		
Пыль	1[2)]<10	>250	0,003-0,006	>1,3
		Газы		
NO_x	<50-<100	>2500	<0,15	>12,5
SO_2	<50	>2000	0	>10,0
CO_2			987	1975
CO	100	>2500	<0,3	>12,5
HCl	0,02[2)]-10	>250	0,00006	>1,3
ПХДД и ПХДБФ	0,0155 нг I-TEQ/нм^3	0,0638 нг I -TEQ/нм^3	$4{,}7\cdot10^{-8}$	$3{,}2\cdot10^{-7}$
Тяжелые металлы(в газообразной форме и в виде частиц				
Мыщьяк	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Кадмий	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Медь	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Марганец	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Ртуть	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Олово	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Теллур	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Ванадий	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Таллий	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$

Хром	<0,01	<0,1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-4}$
Сурьма	<0,01	<0,04	$<5\cdot10^{-5}$	$<2\cdot10^{-4}$
Селен	<0,01	<0,06	$<5\cdot10^{-5}$	$<3\cdot10^{-4}$
Кобальт	<0,01	<0,06	$<5\cdot10^{-5}$	$<3\cdot10^{-4}$
Свинец	<0,01	< 1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-3}$
Цинк	<0,01	< 1	$<5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-3}$

Приведены средние значения величин выбросов, полученные с ичпользованием различного оборудования
Зафиксированы для следующих объёмов отходящих газов при стандартных условиях, <0,01отвечающих температуре 273,15^{0}К и давлению1013гПа при эталоном содержании O_2 11%
*3000нм^3/т извести для обычных шахтных печей, кольцевых шахтных печей и печей с параллельным потоком материала(минимальное)
*3700 нм^3/т извести для вращающихся печей с запечным теплообменником
*5000 нм^3/т извести для длинных вращающихся печей
[1)]Меньшие значения соответствуют уровню определения металлов
[2)]Точечные определения

2.3.3.1 Пыль

2.3.3.1.1 Источники выбросов пыли

Обжиг известняка

Пыль образуется за счет наиболее мелких частиц подаваемого в печь известняка, при термическом и механическом разрушении, при его растрескивании в печи и в меньшей мере за счет золы топлива. Уровень содержания пыли на входе в обеспыливающие устройства колеблется в широких пределах в зависимости от конструкции печи, её мощности и используемого сырья.

Широкий диапазон свойств отходящих газов требует для сбора пыли использования разнообразного оборудования: циклонов, влажных скрубберов, рукавных фильтров ,электрофильтров и гравийных фильтров. Типичные циклоны удаляют 90 % пыли известеобжигательных печей.

После осадительного оборудования выбросы обычно составляют 10-250 мг/нм^3, при использовании влажной скрубберной очистки они составляют 10-100 мг/нм^3. На Рис. 2.35 представлены результаты точечных измерений результатов и показано, что в 70 % определений выбросы пыли из печей, оборудованных электрофильтрами и рукавными фильтрами, ниже 20 мг/нм^3, при этом в 60 % случаев они ниже 10 мг/нм^3, такая величина выбросов пыли зафиксирована при 6% замеров выбросов пыли после очистки во влажных скрубберах, Кроме того, в [16, 45, 46, 66, 68, 71] сообщается о результатах измерений выбросов пыли при обжиге извести, составляющих 1,4-2 мг/нм^3.

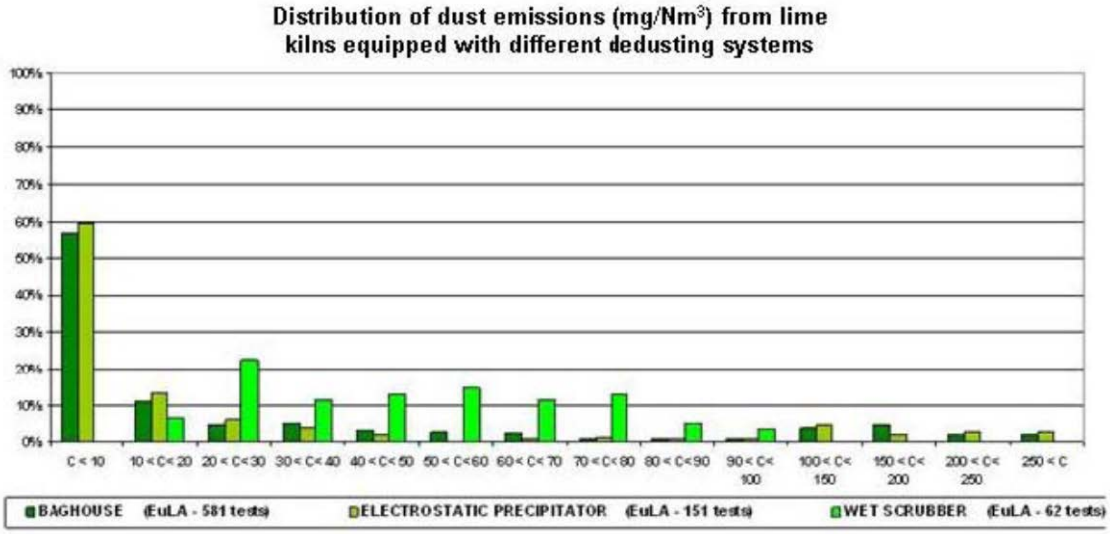

Рис. 2.35 Результаты измерений выбросов пыли из различных известеобжигательных

печей, оснащенных различным пылеочистным оборудованием в странах ЕС-27 (измерения проводили с получасовым интервалом)

Distribution of dust emissions (mg/nm^3) from lime kilns equipped with different dedusting systems - Характер распределения результатов измерений выбросов пыли из известеобжигательных печей с различным пылеосадительным оборудованием ;Baghouse - рукавный фильтр; tests-определения; Electrostatic precipitator-электрофильтр; wet scrubber- влажный скруббер; EuLA- европейская известковая ассоциация

В Германии все шахтные печи оборудованы рукавными фильтрами. После очистки дымовых газов с помощью рукавных фильтров типичный выброс пыли составляет от <10 до <20 мг/нм^3 (точечные измерения, стандартные условия). Обеспечивающие такие результаты рукавные фильтры характеризуются соотношением воздух : поверхность фильтра в интервале от < 1 до 1,2 м^3/нм^3·мин. Вращающие печи оснащают электрофильтрами. В этом случае типичный уровень выбросов составляет менее 20 мг/нм^3. Выделенную в рукавном фильтре или в электрофильтре пыль используют как конечный продукт. Использование для очистки газов от пыли в Германии мокрой скрубберной очистки и гравийных фильтров позволяет добиться уровня выбросов в пределах 30-60 мг/нм^3, зафиксированных как средние при ежедневных измерениях при стандартных условиях. Для достижения степени очистки ниже 20 мг/нм^3 необходимо заменить влажные скрубберы и гравийные фильтры на рукавные фильтры . Результаты измерений свидетельствуют, что пылевыбросы не зависят от вида используемого топлива, т.е. от того, используется ли ископаемое топливо или горючие отходы. Так при использовании в шахтных печах горючих отходов средние ежедневные пылевыбросы составляют от < 5 до < 10 мг/нм^3 [46].

Гидратация извести

Поток газов из гидраторов извести относительно мал: на 1т гидратной извести выделяется около 800 м^3 газа, но перед очисткой в пылеосадительном устройстве в нем может содержаться до 2 г/м^3 пыли. Таким образом, выброс пыли составляет 1,6 кг/т гашеной извести. Для удаления таких пылевыбросов используют влажную скрубберную очистку и рукавные фильтры. Влажность может влиять на уровень пылевыбросов. По этой причине для очистки выбросов гидраторов часто используют скрубберы. При использовании скрубберов нового поколения уровень пылевыбросов в пределах 10-30 мг/м^3, что соответствует примерно 0,008-0,024 кг/т гашеной извести. В Великобритании в 2007 г. три наиболее совершенных скруббера показали 11,17 и 18 мг/м^3, вместе с тем сообщают о пылевыбросах до 60 мг/м^3 [168, 177].

Измельчение извести

Воздух подают во всякое измельчающее оборудование для того, чтобы удалят молотую/измельченную известь с необходимым размером частиц. Такую продукцию выделяют с помощью рукавных фильтров, перед которыми часто устанавливают циклоны. Таким образом, сбор пыли является составной частью рассматриваемого процесса. После очистного оборудования уровень пылевыбросов составляет менее от < 10 до < 50 мг/м^3. Выброс пыли после процесса гидратации обычно составляет в Германии менее 20 мг/м^3.

Связанные и вспомогательные процессы

Практически все связанные и вспомогательные процессы производства извести как, например ,дробление, грохочение, транспортировка гашеной извести, её складирование и выгрузка, являются источниками пылевыбросов. Уровень пылевыбросов контролируется специальной защитой. Воздух в перечисленных ниже процессах очищают с помощью рукавных фильтров:

- первичное/вторичное дробление
- складирование известняка
- измельчение гидратной извести

- оборудование для грохочения
- складирование негашеной извести
- хранение твердого топлива
- транспортирование негашеной извести.

Собранную пыль обычно возвращают в продукцию. В оборудовании для измельчения и транспортирования негашеной извести поддерживают небольшой подсос. Сообщают, что пылевыбросы этих источников что вполне безопасно находится в пределах менее 10-20 мг/м^3.

2.3.3.2.1 Неорганизованные выбросы пыли

Неорганизованные пылевыбросы возникают при складировании и транспортировании сырьевых материалов, топлива и извести из ёмкостей к производственной установке. Наиболее простое и прямолинейное решение состоит в обеспечении минимизации возможных источников диффузной пыли.

Образование пыли, например, из штабелей сырьевых материалов и твердого топлива может быть снижено с помощью следующих технических решений:

- увлажнение штабелей и в частности участков загрузки и разгрузки
- использование ленточных конвейеров с регулируемой высотой.

Для ограничения пылевыбросов из пылящего материала конструируют конвейеры и элеваторы как закрытую систему. Для предотвращения выбросов диффузной пыли прокладывают и периодически очищают используемые грузовиками внутризаводские дороги. Кроме того, применяется увлажнение их поверхности . Если возможно, лучше применять системы закрытых складов. Для снижения выделения диффузной пыли при погрузке обожженной извести рекомендуется, например ,использовать гибкие загрузочные трубы, соединенные с пылесборным устройством. Такие загрузочные трубы оборудованы вытяжным приспособлением, гарантирующим погрузку без пыли. Их располагают на поверхности кузова грузовика, куда они автоматически осуществляют погрузку до тех пор пока не будет достигнута заданная высота. Затем грузовик перемещается вперед на 30см и операция повторяется вновь [46, 66].

2.3.3.2 Оксиды азота

NO и NO_x являются преобладающими оксидами азота в дымовых газах вращающихся известеобжигательных печей, они могут образовываться при сжигании топлива. Имеется два источника формирования NO_x:

- Тепловые NO_x обычно формируется при высокотемпературном взаимодействии азота с кислородом из воздуха для горения(термическое NO_x); этот процесс сильно зависит от температуры и вида используемого топлива
- Топливные NO_x образуется в результате взаимодействия между азотными соединениями топлива и кислородом воздуха для горения.

Тепловые NO_x образуются при температурах около 1000 ^{0}С, т.е. в зоне обжига печи, где температура достаточно высока. С увеличением температуры и содержания кислорода в зоне обжига количество термических NO_x возрастает. Поэтому вынужденные получать низкоактивную сильно или мертво обожженную известь печи, в которых для этой цели в зоне обжига поддерживают более высокие температуры, генерируют больше NO_x, чем печи, в которых получают мягко обожженную высокоактивную известь. Вследствие этой температурной зависимости выбросов NO_x из вертикальных шахтных печах меньше, чем из вращающихся печей (Рис. 2.36).

Топливный NO_x образуется в результате окисления азотистых соединений топлива. В зависимости от условий горения топлива его азотистые соединения либо взаимодействуют друг с другом с образованием N_2 либо с кислородом формируют NO_x. В зоне обжига вращающихся печей температура достаточно высока, чтобы способствовать окислению азота топлива до NO_x.

Как следует из данных Рис. 2.36, выбросы NO_x из вращающихся печей в зависимости от типа печи, используемого топлива и вида производимой извести лежат в диапазоне 300-2000 мг/нм^3 . Результаты точечных измерений свидетельствуют о том, что 68 % выбросов NO_x составляют менее 500 мг/нм^3.В зависимости от типа печи и вида выпускаемой извести выбросы NO_x из шахтных печей находятся в интервале ниже 100-500 мг/нм^3. Результаты точечных измерений с получасовым интервалом свидетельствуют о том, что 60 % выбросов NO_x шахтных печей менее 100 мг/нм^3, в случае печей с параллельным потоком шахтных пересыпных и прочей конструкции такая величина выбросов NO_x наблюдается в 80 %, а кольцевых шахтных печей - в 50 %.

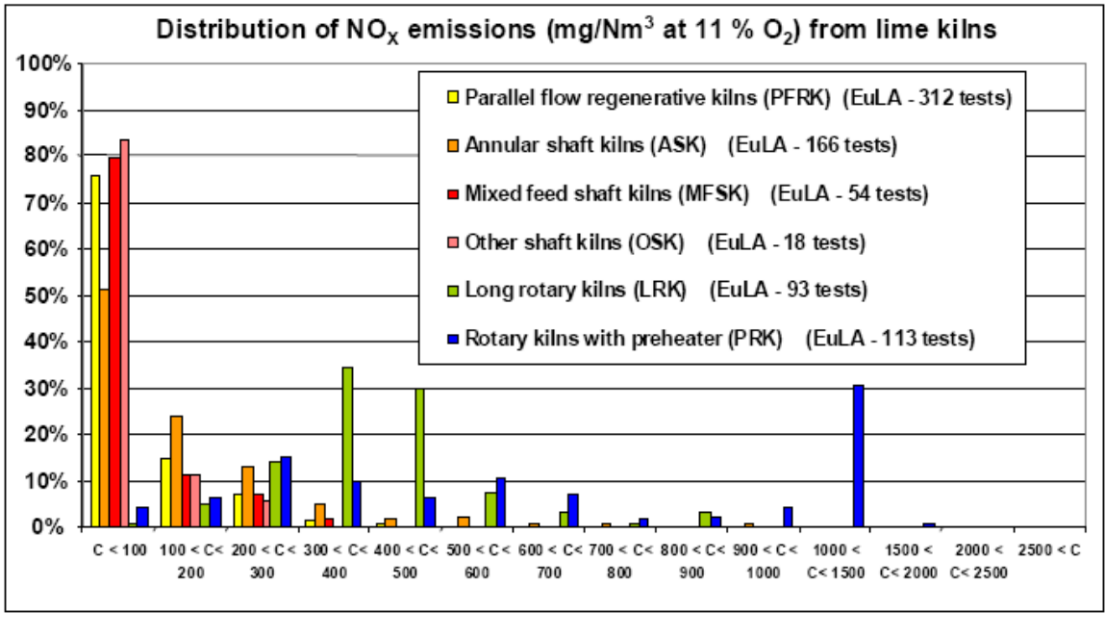

Рис. 2.36 Выбросы NO_x различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27. Измерения с получасовым интервалом [129]

Parallel flow regenerative kilns-печи с параллельным потоком; Annular shaft kilns-кольцевые шахтные печи ;Mixed feed shaft kilns-шахтные пересыпные печи ;Other shaft kilns-прочие шахтные печи ; Long rotary kilns-длинные вращающиеся печи ;Rotary kilns with preheater-вращающиеся печи с запечным теплообменником ; tests-определения ; Distribution of NO_x emissions (mg/nm^3 at 11% O_2)from lime kilns- распределение выбросов NO_x (мг/нм^3 при O_2 11%) из известеобжигательных печей различной конструкции

Длинные вращающиеся печи и вращающиеся печи с запечным теплообменником

Характеризуются определенным положением факела и тем, что его температура выше, чем в шахтных печах. Благодаря процессам теплопередачи температура печных газов высокая, это приводит к увеличению уровня термического NO_x.

Мертво обожженный доломит обычно обжигают во вращающихся печах. Ввиду того, что указанный процесс требует более высоких температур, наблюдается более высокий уровень выбросов NO_x.

Выбросы NO_x из печей этого типа находятся в диапазоне 300-2000 мг/нм^{3}и зависят от вида продукта обжига(мягко или мертво обожженные известь/доломит) и содержания азота в топливе, температуры процесса, избытка воздуха и вида продукции. Исходя особенности дымовых газов, это составляет:

- 5000 нм^3/т при 11 % O_2, что соответствует выбросам NO_x 1.5-10 кг/т извести в случае длинных вращающихся печей
- 4000 нм^3/т при 11 % O_2, что соответствует выбросам NO_x 1,2-8 кг/т извести в случае печей с запечным теплообменником.

Шахтные печи рассмотренных типов

Ввиду того, что в шахтных печах температура ниже 1400 ^{0}C они выделяют меньше NO_x, чем вращающиеся печи, так формирование термического NO_x в этом случае относительно ниже.

Кроме того, в процессе горения в этих печах формируется пламя с меньшей, чем во вращающихся печах температурой. В сочетании с худшей интенсивностью перемешивания все изложенное способствует меньшему выбросу NO_x из топлива.

В зависимости от типа рассматриваемых шахтных печей диапазон выбросов NO_x из них находится в пределах 100-500 мг/нм^3 в зависимости от вида (известь/доломит) продукта обжига. Исходя из особенностей дымовых газов это составляет:

- 3000 нм^3/т (при 11 % O_2) для печей с параллельным потоком и кольцевых шахтных печей, что соответствует выбросу NO_x в диапазоне 0,3-1,5 кг/т извести
- 2500 нм^3/т (при11 % O_2)для шахтных пересыпных печей и печей прочих типов, что соответствует выбросу в диапазоне 0,25 - 1,3 кг/т извести.

Однако при производстве в шахтных печах сильно обожженной извести и мертво обожженного доломита выбросы NO_x сильно увеличиваются и достигают 2000 мг/нм^3.

2.3.3.3 Диоксид серы

В процессе большинства вариантов обжига негашеная известь захватывает большую часть серы, выделяющейся из известняка и топлива. Эффективный контакт печных газов и негашеной извести обычно сопровождается эффективной абсорбцией диоксида серы. На Рис. 2.37 приведены характерные данные о не превышающих 50 мг/нм^3 выбросах SO_2, зафиксированных в установленных в ЕС-27 известеобжигательных печах различного типа при точечных измерениях с получасовым интервалом.

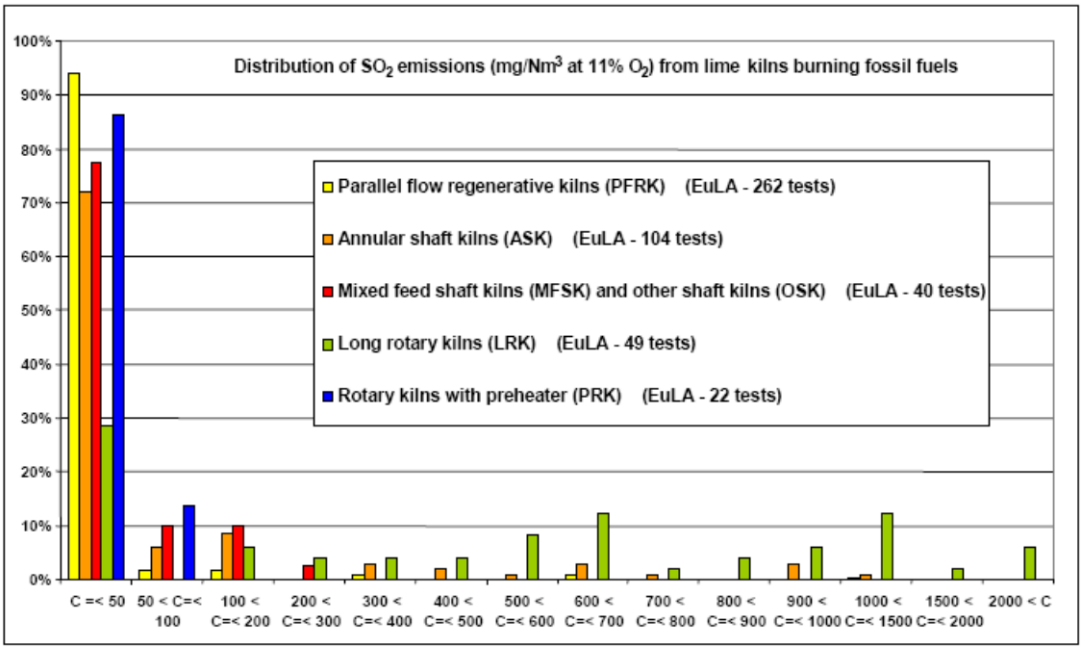

Рис. 2.37 Выбросы SO_2 из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27, использующих ископаемое топливо. Точечные измерения проводили с получа-

совым интервалом [129]

Parallel flow regenerative kilns-печи с параллельным потоком ;Annular shaft kilns-кольцевые шахтные печи ; Mixed feed shaft kilns-шахтные пересыпные печи ;Other shaft kilns-прочие шахтные печи ; Long rotary kilns-длинные вращающиеся печи ;Rotary kilns with preheater -вращающиеся печи с запечным теплообменником ; tests-определения ; Distribution of SO_2 emissions (mg/nm^3 at 11% O_2)from lime kilns burning fossil fuels- распределение выбросов SO_2 (мг/нм^3 при O_2 11%) из известеобжигательных печей, отапливаемых ископаемым топливом

Как следует из данных Рис. 2.37, выбросы из вращающихся печей в зависимости от типа печи, вида топлива и вида извести находятся в диапазоне 50-2000 мг/нм^3. Точечные измерения показывают, что 63 % выбросов SO_2 не превышают 500 мг/нм^3. Выбросы SO_2 из шахтных печей лежат в диапазоне от < 50 до 1000 мг/нм^3; на величину выбросов влияют тип печи, вид топлива и вид производимой извести. Результаты точечных измерений показывают, что 87 % выбросов SO_2 не превышают 50 мг/нм^3. Более того, точечные измерения показали, что 90 % выбросов SO_2 для печей с параллельным потоком не превышают 50 мг/нм^3. В случае печей прочих конструкций 90 % выбросов SO_2 не превышает 200 мг/нм^3. Примерно 90 % вращающихся печей, оборудованных запечным теплообменником, примерно 78 % шахтных кольцевых печей, шахтных печей прочей конструкции и шахтных пересыпных характеризуются выбросами SO_2, не превышающими 50 мг/нм^3.

Как следует из Рис. 2.38, при использовании для обжига горючих отходов выбросы SO_2 из 100 % печей с параллельным потоком и шахтных кольцевых печей и примерно из 80 % длинных вращающихся печей не превышают 50 мг/нм^3.

Длинные вращающиеся печи

Для длинных вращающихся печей характерна способность производить низкосернистую негашеную известь в восстановительной атмосфере. В этом случае часть серы топлива и известняка возгоняется в виде диоксида серы в отходящие газы.

Выбросы SO_2 из таких печей лежат в диапазоне 50-1500 мг/нм^3, их интенсивность связана с видом топлива и с необходимым для производства различной продукции характером (восстановительная или окислительная) печной атмосферы. Ввиду того, что низко сернистое топливо не всегда доступно, более высокие выбросы SO_2 связаны с использованием высоко сернистого топлива. Исходя из образования отходящих (O_2 составляет 11 %) газов 5000 нм^3/т продукции, удельный выброс SO_2 составляет 0,3-7,5 кг/т извести.

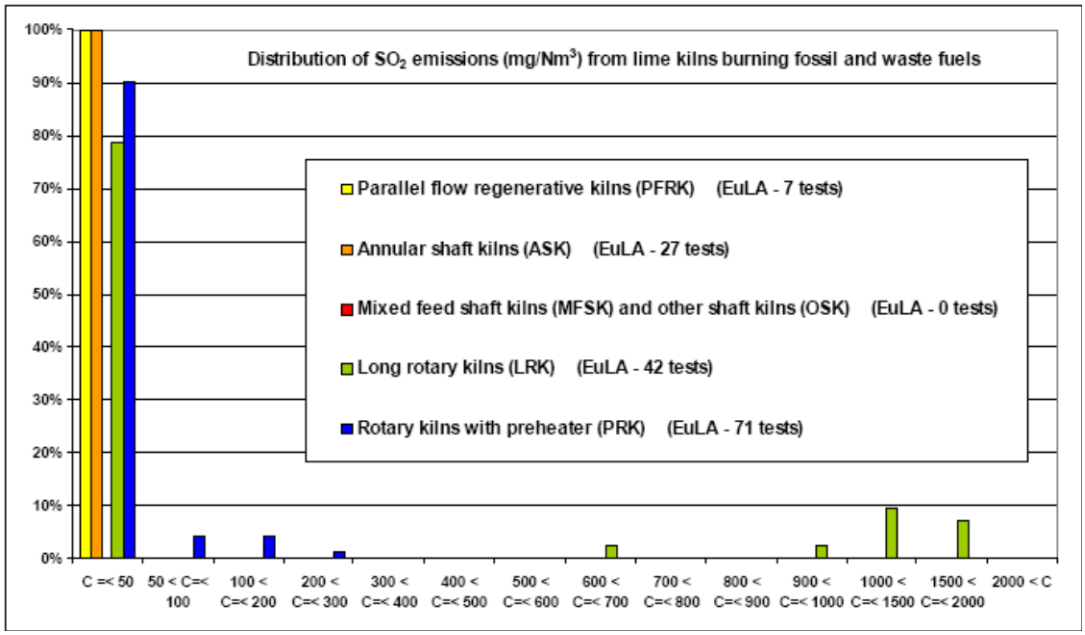

Рис 2.38 Выбросы SO_2 из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27,использующих ископаемое топливо и горючие отходы. Точечные измерения проводили с получасовым интервалом [129]

Parallel flow regenerative kilns-печи с параллельным потоком ;Annular shaft kilns-кольцевые шахтные печи ; Mixed feed shaft kilns-шахтные пересыпные печи ;Other shaft kilns-прочие шахтные печи ; Long rotary kilns-длинные вращающиеся печи ;Rotary kilns with preheater-вращающиеся печи с запечным теплообменником ; tests-определения ; Distribution of SO_2 emissions (mg/nm^3 at 11% O_2)from lime kilns burning fossil fuels andwaste fuels- распределение выбросов SO_2 (мг/нм^3 при O_2 11%) из известеобжигательных печей, отапливаемых ископаемым топливом и горючими отходами

Вращающиеся печи с запечным теплообменником

Для вращающихся печей с запечным теплообменником также характерна способность производить низкосернистую негашеную известь в восстановительной атмосфере, однако при этом часть серы связывается с известью и пылью. Поэтому выброс серы из печей такого типа меньше, чем из длинных вращающихся печей.

Выбросы SO_2 из таких печей лежат в диапазоне 50-400 мг/нм^3, их интенсивность связана с видом топлива и с необходимым для производства различной продукции характером (восстановительная или окислительная) печной атмосферы. Исходя из образования отходящих (O_2 составляет 11%) газов 4000 нм^3/т продукции, удельный выброс SO_2 составляет 0,2-1,6 кг/т извести.

Шахтные печи пересыпные, с параллельным потоком, кольцевые и прочей конструкции

Характерный для шахтных печей эффективный контакт между газовой атмосферой и негашеной известью провоцирует интенсивное поглощение диоксида серы, следствием которого является получение негашеной извести с повышенным содержанием серы при использовании высокосернистого топлива

Выбросы из печей этого типа в зависимости от используемого топлива лежат в диапазоне 50-400 мг/нм^3, исключение составляют шахтные кольцевые печи выбросы которых достигают 1000 мг/нм^3. Исходя из образования отходящих (O_2 составляет 11 %) газов:

- 3000нм^3/т продукции в шахтных печей с параллельным потоком и кольцевых
- 2500нм^3/т продукции в шахтных пересыпных и прочей конструкций печей,

Удельный выброс SO_2 составляет 0,2-1,2 кг/т извести в шахтных печах с параллельным потоком и кольцевых и 0,1-1,0 кг/т извести в шахтных пересыпных и прочей конструкций печах.

2.3.3.4 Оксиды углерода (CO_x)

2.3.3.4.1 Диоксид углерода (CO_2)

Выбросы CO_2 рассматриваются как парниковый газ. Выбросы CO_2 известковой промышленности входят в систему торговли квотами на выброс загрязнителей. Информацию, касающуюся выбросов CO_2 и торговли квотами на выброс загрязнений, можно найти в Директиве 2003/87/ЕС Европейского парламента и Совета от13 октября 2003г, устанавливающих схему торговли квотами на выброс парниковых газов Сообщества, и в уточненной Директиве Совета 96/61/ЕС [99].

Основные химические реакции производства извести/доломита можно представить:

- известь кальциевая: $CaCO_3$ +энергия→CaO + CO_2(процесса)+CO_2(горения)
- известь доломитовая: $CaCO_3.MgCO_3$ +энергия→CaOMgO + CO_2 (процесса)+CO_2 (горения)

CO_2(процесса) представляет выбросы при получении кальциевой/доломитовой извести.

CO_2(горения) представляет выбросы от сжигания топлива

В Табл. 2.25 сопоставлены количества CO_2 процесса и горения, образующиеся в печах разного типа.

Таблица 2.25 Факторы, влияющие на выбросы CO_2 из известеобжигательных печей различного типа [54]

Тип печи[1)]	CO_2(процесса)/т CaO кальциевой извести[2)]	CO_2(процесса)/т CaO доломитовой извести	CO_2(горения)т/ т кальцивой/ доломитовой извести	Суммарный выброс CO_2
Длинные вращающиеся	0,785	0,913	0,365-1,062	1,150-1,847[3)] 1,278-1,975[4)]
Вращающиеся с запечным теплобмеником	0,785	0,913	0,269-0,617	1,054-1,402 1,182-1,530
С параллельным потоком	0,785	0,913	0,202-0,425	0,987-1,210 1,115-1,338
Кольцевые	0,785	0,913	0,224- 0,465	1,009-1,250 1,137-1,378
Пересыпные	0,785	0,913	0,224-0,708	1,009-1,483 1,137-1,621
Прочие	0,785	0,913	0,224-0,508	1,009-1,290 1,137-1,419

[1)]Тип печи определяется требованиями к качеству продукции, сырья и его гранулометрии
[2)]Показатель CO_2(процесса) определяется согласно рамочной конвенции ООН по изменению климата 1992 г
[3)]Кальциевая известь
[4)]Доломитовая известь

До 2008 г. в большинстве стран ЕС-27 снижались выбросы CO_2 в расчете на 1 т негашеной извести не только путем замены старых печей на более эффективные, но и за счет совершенствования энергозатрат (например, более совершенного контроля процесса) и увеличения производительности (например, снижения выхода пыли).

2.3.3.4.2 Оксид углерода (CO)

Из Рис. 2.39 видно, что выбросы CO известеобжигательных печей составляют, в зависимости от типа печей и вида топлива от 100 до 2500 мг/нм^3. Примерно до 50 % точечных измерений показывают, что выбросы CO меньше 100 мг/нм^3.

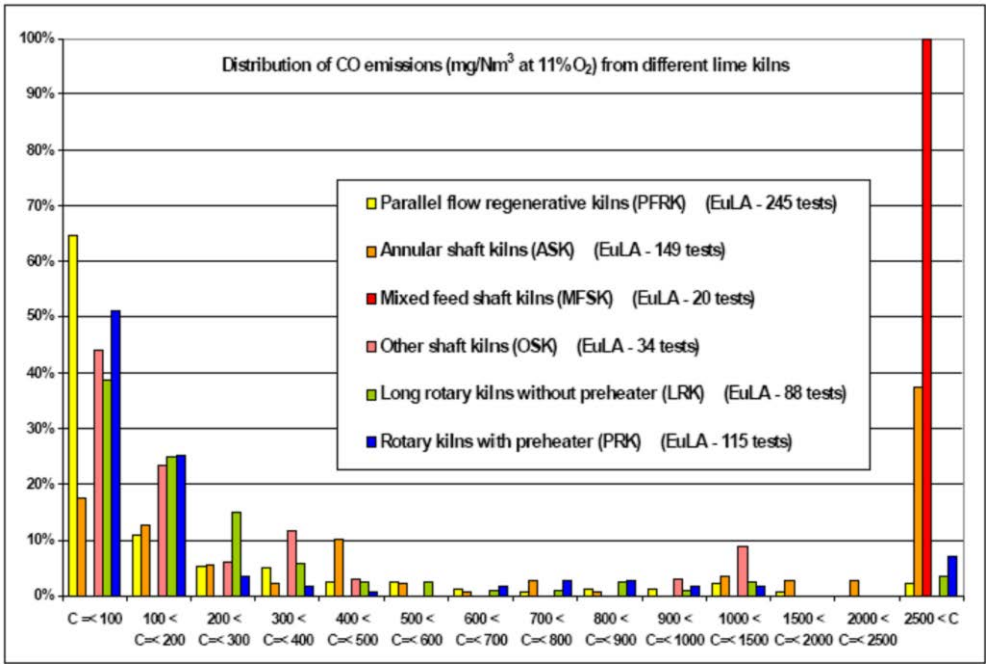

Рис. 2.39 Выбросы CO из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27 [129]

Parallel flow regenerative kilns-печи с параллельным потоком;Annular shaft kilns-кольцевые шахтные печи ; Mixed feed shaft kilns-шахтные пересыпные печи ;Other shaft kilns-прочие шахтные печи ; Long rotary kilns-длинные вращающиеся печи ;Rotary kilns with preheater-вращающиеся печи с запечным теплообменником ; tests-определения ; Distribution of CO emissions (mg/nm^3 at 11 % O_2)from different lime kilns - распределение выбросов CO (мг/нм^3 при O_2 11 %) из различных типов известеобжигательных печей

Выполненные на известеобжигательных печах эксперименты показывают, что с помощью термического окисления можно безопасно поддерживать концентрацию CO равной 2 % (объёмных). Однако концентрация выбросов CO в очищенных газах не превышает 100 мг/нм^3 [142].Концентрацию CO измеряют в основании печной трубы, так как при попадании в атмосферу CO быстро окисляется до CO_2 и рассеивается.

Ввиду того, окись углерода (CO) образуется в результате неполноты сжигания топлива, её наличие обычно приводит к снижению производительности, и поэтому операторы стремятся ограничить выброс CO управляемых ими печей.

Вращающиеся печи

Выброс CO в поступающих в трубу отходящих газах непрерывно контролируют. При наличии серы в извести или топливе выброс CO связан с заданным качеством извести.

Выбросы CO из печей этого типа в зависимости от качества топлива составляют 100-400 мг/нм^3. Исходя из отходящих газов с 11 % O_2, их объемы составляют:

- 5000 нм^3/т продукции в случае длинных вращающихся печей и
- 4000 нм^3/т в случае вращающихся печей с запечным теплообменником

Таким образом, удельный выброс CO составляет 0,5 -2 кг/т для длинных вращающих печей и 0,4-1,6 кг/т в случае вращающихся печей с запечным теплообменником.

Шахтные печи с параллельным потоком материала, кольцевые, пересыпные и других типов

В соответствии с их конструкцией кольцевые шахтные печи эксплуатируют таким образом, чтобы горелки нижнего ряда работали с избытком кислорода, а горелки верхнего ряда при его стехиометрическом соотношении .В результате типичные выбросы CO этих печей составляют 100-2500 мг/нм^3. Исходя из образования отходящих газов в количестве 3000 нм^3/т удельные выбросы CO составляют 0,3-7,5 кг/т извести.

В шахтных печах других типов не представляется возможным количественно измерить выбросы CO.

Следует подчеркнуть то обстоятельство, что по сравнению с печами других видов наличие выбросов CO в случае шахтных пересыпных печей не является признаком неполноты горения. Условия эксплуатации известеобжигательных печей определяются требованиями к качеству продукции, т.е. необходимыми свойствами получаемой извести. Чем выше выбросы CO, тем выше энергопотребление печи: каждый процент повышения выбросов CO увеличивает расход энергии на 200 кДж/кг извести. Поэтому печи эксплуатируют таким образом, чтобы обеспечить минимальные выбросы CO, гарантирующие допустимые показатели продукции. В известковой продукции Германии в целях оптимизации поддерживают уровень выбросов CO в отходящие газы менее 3 % [46]. С точки зрения снижения выбросов CO оптимизация процесса является единственным решением. При обжиге в шахтных пересыпных печах продукции с конкретными свойствами необходимо поддерживать уровень выбросов CO между 1 и 6 %. Однако для определенных целей нужна сильно обожженная известь, которую получают в шахтных пересыпных печах. Как следует из Рис. 2.40, уровень выбросов CO в печах такой конструкции определяют с помощью так называемой реакции Boudouard.

В случае печей с параллельным потоком материала очень маленький пик CO появляется в начале цикла. В конце цикла подача топлива прекращается, и до изменения направле-

ния на обратное подается только воздух, обеспечивающий полное сгорание топлива. Опыт показывает, что несмотря на это небольшое количество топлива остается под топливными трубками. После изменения направления процесса оно продолжает гореть в неблагоприятных условиях, проявляя пик CO.

Выбросы CO таких печей в зависимости от вида топлива находится на уровне 100-400 мг/нм^3. Исходя из выхода отходящих газов (11 % O_2) 3000 нм^3/т продукции, выбросы CO_2 находятся на уровне 0,3-1,2 кг/т извести.

С помощью реакции Boudouard определяется температурный профиль топлива в не содержащей кислорода атмосфере. Другие относящиеся к делу факторами являются гранулометрия, активность топлива, однородность перерабатываемого материала, скорость воздуха и первоначальное содержание CO_2. С повышением температуры растет скорость формирования CO. Поэтому может быть трудно и в какой-то степени невозможно препятствовать выбросам CO из шахтных пересыпных печей [46].

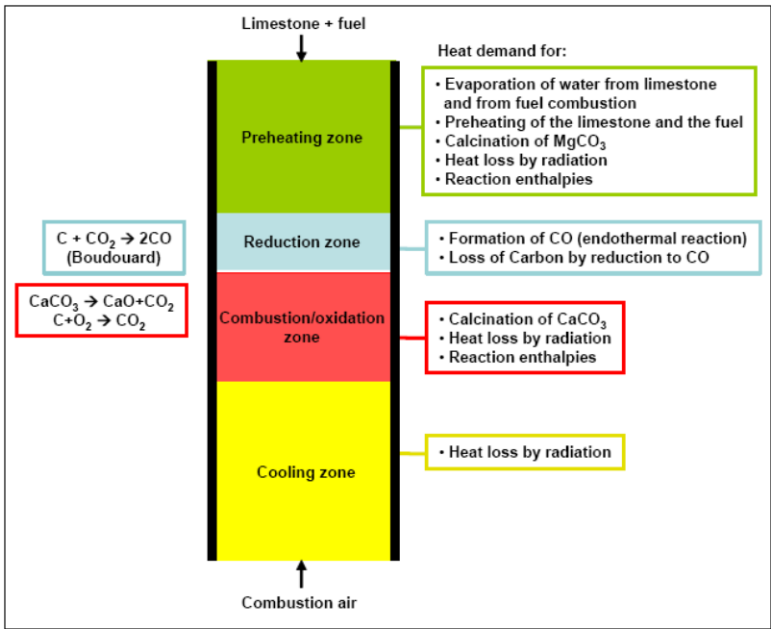

Рис. 2.40 Химические реакции и потребление энергии в шахтных пересыпных печах (реакция Boudouard) [46]

Limestone +fuel- известняк +топливо ;Preheating zone-зона подогрева ;Reduction zone- зона восстановления ; Combustion/ oxidation zone-зона горения/окисления ; Cooling zone-зона охлаждения ; Combustion air-воздух для горения ; Heat demand for- потребность в тепле для ; Evaporation of water from limestone and from fuel combustion- испарение воды из известняка и топлива ;Preheating of the limestone and the fuel-подогрев известняка и топлива ; Calcination of $MgCO_3$-обжиг $MgCO_3$;Heat lost by radiation- потери тепла радиацией;Reaction enthalpies-энтальпия реакции ;Formation CO(endothermal reaction)-образование CO(эндотермическая реакция) ;Loss of Carbon by reduction to CO-потеря углерода восстановлением CO ; Calcination of $CaCO_3$- обжиг $CaCO_3$

Производство гидравлической извести

Некоторые известняки содержат углерод, который в процессе обжига извести может вызывать более высокий выброс CO, как например, в случае производства гидравлической извести (раздел 2.2.2) в шахтных печах или печах другой конструкции, когда известняк содержал 65-90 % $CaCO_3$ и $MgCO_3$. Чистота этого сырья отличается от чистоты сырья, используемого для производства другой извести. В ходе периодических (два раза в год) измерений в период 2003-2006 гг выбросы CO при точечных измерениях при стандартном содержании O_2 8 % составили 5904-12560 мг/нм^3, т.е 4541-9555 мг/нм^3 при содержании 11 % O_2.

2.3.3.5 Органические соединения / общий органический углерод (TOC)

Выбросы летучих соединений углерода обычно измеряют как общий органический углерод (TOC). Результаты специального анализа показывают, что часть TOC представлена метаном, при этом зафиксировано и наличие бензола. В выбросах шахтных пересыпных печей 80-90 % составляет метан и 2 %-бензол [46, 54]. На Рис. 2.41 проиллюстрированы результаты измерений типичных выбросов TOC различных типов известеобжигательных печей.

Выбросы летучих соединений углерода часто связывают с выбросами CO, образующегося в результате неполного сгорания топлива. Ввиду того, что операторы придерживаются тенденции ограничения выбросов CO, выбросы летучих соединений углерода в основном низки. Однако в очень ограниченном ряде случаев, когда в сырье, известняке содержится до 0,1 % органического материала, летучие органические соединения могут непрерывно выбрасываться.

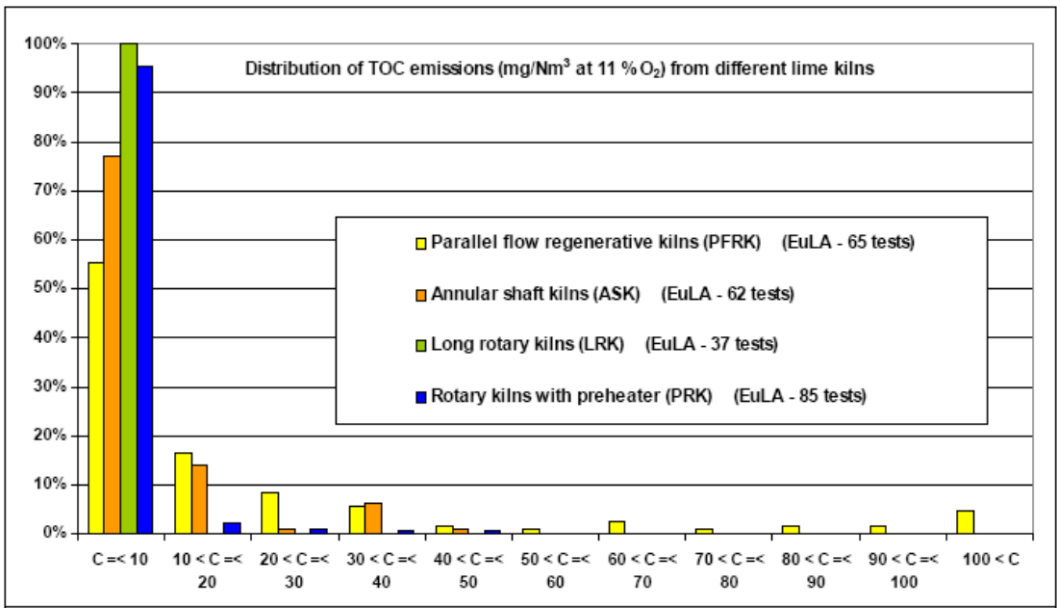

Рис 2.41 Выбросы TOC из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27 [129]

Parallel flow regenerative kilns-печи с параллельным потоком; Annular shaft kilns-кольцевые шахтные печи ; Long rotary kilns-длинные вращающиеся печи ;Rotary kilns with preheater-вращающиеся печи с запечным теплообменником ; tests-определения ; Distribution of TOC emissions (mg/nm^3 at 11% O_2) from different lime kilns - распределение выбросов TOC (мг/нм^3 при O_2 11%) из различных типов известеобжигательных печей

Во всех типах печей кроме печей с параллельным потоком и шахтных пересыпных печей такие выбросы имеют место лишь в течение короткого периода пуска и нарушения режима, вызывая выбросы до 10 мг/нм^3 в перечете на эквивалентный углерод. У печей с параллельным потоком материала процесс связан с изменением цикла каждые 10-12 мин. И поэтому уровень выбросов летучих соединений углерода незначительно выше уровня, наблюдаемого в печах другой конструкции. Что качается шахтных пересыпных печей, то более высокие выбросы TOC можно связать с особыми условиями процесса, протекающего в верхней части печи (восстановительный режим).

Производство гидравлической извести

Ситуации с выбросами при производстве природной гидравлической извести различны. В этом случае чистота сырьевого материала отличается от чистоты сырьевого материала, используемого для производства других видов извести. Высокое содержание органического материала обусловлено содержанием в нем ископаемых организмов, которые за века не превратились в диоксид углерода. Содержание органического материала в виде TOC обычно составляет от 0,8 до 5 %. Выполненные в 2005 г. исследования показали, что в случае, если сырьевой материал содержит органический материал в количестве 2,8-5 % содержание TOC в обожженном продукте в пределах 0,7-1,2 %. В небольшом числе случаев, когда известняк содержит значительные количества органического материала, летучие соединения углерода (обозначаемые как TOC) могут выбрасываться непрерывно. В ходе периодических (два раза в год)измерений в течение 2003-2006 гг. установлено, что выбросы TOC составляют 593-2169 мг/нм^3 (точечные измерения при стандартном содержании в газах 8 % O_2), что соответствует 456-1668 мг/нм^3 при 11 % O_2 .

2.3.3.6 Полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны (ПХДД и ПХДФ)

Содержащие хлориды сырьевые материалы или топливо потенциально могут образовывать ПХДД и ПХДФ в тех зонах, где температура составляет 300-450 ^{0}С.

По данным [31, ПХДД и ПХДФ известкового производства составляют весьма малую долю их выбросов в Европе.

Известковая промышленность выполнила замеры (в основном для внутренних целей) для лучшего обзора ситуации с ПХДД и ПХДФ. Данные 2006 г. совершенно репрезентативны для известкового производства стран ЕС-27 (Табл. 2.26).

Таблица 2.26 Средние значения выбросов ПХДД и ПХДФ различных печей стран ЕС-27

Тип печей	Средние выбросы ПХДД и ПХДФ (нг I-TEQ/нм^3 (11% O_2)	Мониторинг количества печей	Общее количество печей в ЕС-27	%
Длинные вращающиеся	0,0638	11	25	44
С запечн. теплообменником	0,0698	15	20	75
С параллельным потоком	0,0198	45	149	30
Кольцевые шахтные	0,0155	40	77	52
Шахтные пересыпные	0,0532	25	115	22
Других типов	0,0050	1	158	0,6

2.3.3.7 Хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF)

В Табл. 2.27 приведены примеры типичных выбросов HCl и HF из различного типа известеобжигательных печей.

Таблица 2.27 Типичные выбросы HCl и HF различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27 [46, 68]

Тип печей	мг HCl/нм^3 1)	мг HF/нм^3 1)
Негашеная известь(мягко и сильно обожженная)		
Длинные вращающиеся печи	<`5 -<50	<1
С запечным теплообменником	<5 -<20	<1
С параллельным потоком материала	<10	<1
Шахтные кольцевые	<20-<40	<2
Шахтные пересыпные	<15- <20	<1
Другие типы печей	<10	<1
Мягко обожженная доломитовая известь		
Длинные вращающиеся печи	<150	<1
С запечным теплообменником2)	<30	<1
Шахтные пересыпные	<20	<1
Использование отходов		
Печи различных типов	10 3) 60 4)	1 3) 4 4)

1)Концентрацию отходов измеряли через 30мин при содержании O_2 10 %
2)Врашающаяся печь колосниковым теплообменником
3)Среднесуточное значение
4)Среднее получасовое значение

Поведение HCl в известеобжигательной печи очень напоминает поведением диоксида серы. Поэтому у большинства операторов печей содержащийся в сырье (известняке) и топливе хлорид захватывается негашеной известью. Эффективный контакт печных газов с кальциевой/доломитовой известью обычно способствует поглощению HCl. Это особен-

но заметно в случае использования вертикальных печей, в которых имеется эффективный контакт печных газов и кальциевой извести/доломитовой извести. Однако выброс HCl из шахтных печей во многом зависит от содержания соединений хлора в известняке. Наблюдается тенденция: при обжиге сухого известняка выбросы HCl больше. В некоторых случаях при впрыскивании воды выбросы HCl снижаются .

Ввиду того обстоятельства, что содержание хлора в доломите выше, чем в известняке (100-1000 против 10-150 числа миллионных долей), выбросы HCl при обжиге доломита выше. В случае вращающихся печей, обжигающих доломитовую известь, выбросы HCl могут превысить уровень, соответствующий 10 мг/нм^3 (регламентированный директивами по сжиганию отходов), даже при использовании не содержащего хлор топлива [59].

На Рис. 2.42 показан характер распределения выбросов HCl известеобжигательных печей различной конструкции.

В некоторых случаях при использовании в качестве топлива отходов и/или сырьевых материалов выбросы HCl в 10 мг/нм^3 и выбросы HF в1мг/нм^3 являются среднесуточной нормой (при 10 % содержании O_2). Такого уровня выбросов следует придерживаться при точечных или периодических измерений [46, 168].

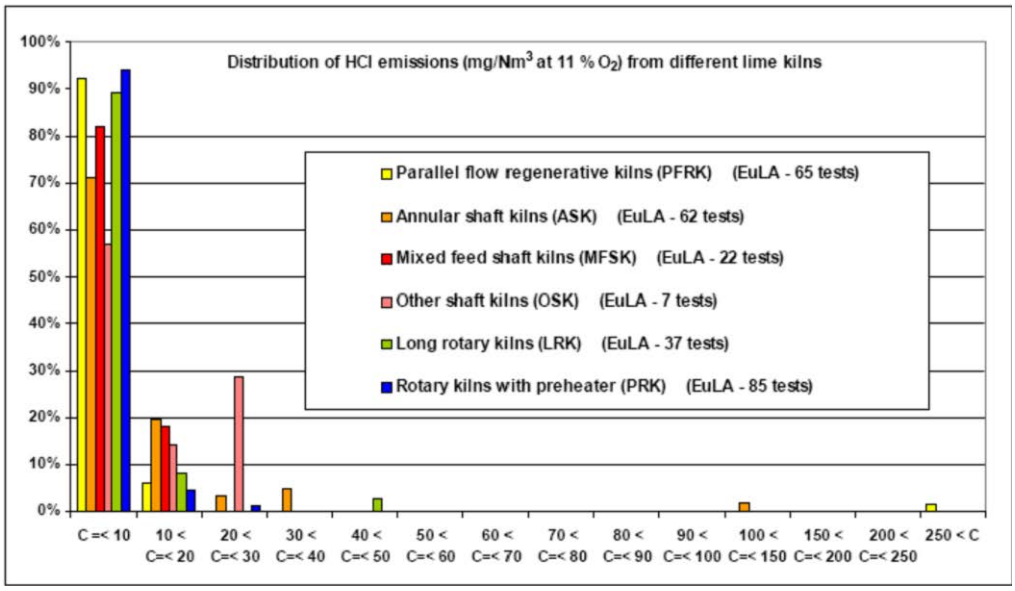

Рис. 2.42 Выбросы HCl из различных типов известеобжигательных печей стран ЕС-27 [129]

Parallel flow regenerative kilns-печи с параллельным потоком ;Annular shaft kilns-кольцевые шахтные печи ; Mixed feed shaft kilns-шахтные пересыпные печи ;Other shaft kilns-прочие шахтные печи ; Long rotary kilns-длинные вращающиеся печи ;Rotary kilns with preheater-вращающиеся печи с заепечным теплообменником ; tests-определения ; Distribution of HCl emissions (mg/nm^3 at 11% O_2)from different lime kilns - распределение выбросов *HCl* (мг/нм^3 при O_2 11%) из различных типов известеобжигательных печей

2.3.3.8 Сероводород (H_2S)

Ввиду сильно восстановительных условий в верхней части шахтных пересыпных печей, выбросы H_2S возникают только в таких печах. При этом выбросы H_2S достигают 20 мг/нм^3.

Однако не прослеживается связь между содержанием серы в подаваемом в печь сырьевом материале и топливе и выбросами H_2S. Это обусловлено тем обстоятельством, что часть серы (в печной загрузке) находится в восстановленной форме, т.е. в виде пирита, серы, связанной органикой, или элементарной серы, а остальная сера представлена окисной формой, т.е. сульфатами. Их соотношение неизвестно, так как обычный анализ фиксирует только суммарное содержание серы. Однако во время химических процессов, протекающих в верхней части шахтной пересыпной печи, только восстановленная или элементарные формы серы образуют H_2S [46, 54].

2.3.3.9 Металлы

В настоящее время доступен большой объём информации, касающейся следующих металлов: сурьмы, мышьяка, кадмия, хрома, кобальта, меди, свинца, марганца, ртути, никеля, селена, теллура, таллия, ванадия и цинка. Как следует из Табл. 4.40 раздела 4.3.4, следствием использования отходов является рост выбросов металлов.

В Табл. 2.28 приведены данные о выбросах металлов в странах ЕС-27. В этой таблице приведены результаты (С), относящиеся как к металлам в парообразном состоянии, так и в виде твердых частиц, при содержании в отходящих газах 11 % O_2 . В том случае, если измеренная концентрация меньше предела чувствительности, предполагается, что она равна пределу чувствительности. Из анализа основной массы рассматриваемых данных следует, что даже при использовании отходов в качестве топлива выбросы меньше, чем пределы чувствительности определений. Поэтому величина выбросов находится в пределах 0,01-0,1 мг/нм^3. В случаях повышенных выбросов пыли выбросы свинца и цинка могут достичь величины 0,4 мг/нм^3.

В разделе 4.3.1 приведены конкретные данные о характере распределения концентраций металлов в дымовых газах известеобжигательных печей [56].

2.3.3.10 Влияние использования отходов на характер выбросов

1.3.3.10.1 Примеры выбросов при использовании отходов нефти

Германское предприятие приводит типичные результаты выбросов из шахтной печи, использующей в качестве топлива отходы нефти. Печь оснащена рукавными фильтрами. Температура в 10 камерах горения кольцевой шахтной печи составляет 1140-1300 ^{0}С. Предназначенные для сжигания отходы нефти поступают из специального сборного и смесительного устройства. До того, как отходы нефти подаются в горелку, их фильтруют сито с ячейкой 200 мкм. В Табл. 2.29 проиллюстрированы качественные показатели сжигаемых в кольцевой шахтной печи отходов нефти (теплотворная способность 0,03-0,039 ГДж/кг и содержание воды 4-11 %). Данные 2002 г.

Таблица 2.29 Данные о качестве отходов нефти, используемых в шахтных печах германского предприятия [46]

Загрязняющее вещество	Единица измерения	Типичное содержание загрязняющих веществ после фильтрации
Сера	% (по массе)	0,34-0,55
Общее содержание хлора	% (по массе)	0,03-0,04
Hg	мг/кг^3	<0,05
Cd	мг/кг	0,2-0,3
Tl	мг/кг	<0,5
Металлы		
∑ Sb,As,Pb,Cr,Co,Cu,Ni,Mn,V,Sn	мг/кг	42-214
∑ 6 ПХБ[1)] 28,52,101,153,137,180	мг/кг	<1

[1]ПХБ-полихлорированный бифенил

В Табл. 2.30 приведены результаты измерений (2002 г.) выбросов печей германских предприятий , отапливаемых только отходами нефти

Таблица 2.30 Результаты измерений выбросов шахтных печей германских предприятий, использующих отходы нефти [46]

Загрязняющее вещество	Единица измерения	Результаты индивидуальных измерений с интерва-

		лом 30 мин
Пыль	мг/нм^3	1-11
TOC	мг/нм^3	<4
CO	г/нм^3	0,06-1,2
NO_x	мг/нм^3	110-240
SO_2	мг/нм^3	1-13
HF	мг/нм^3	<0,2
HCl	мг/нм^3	11-19
ПХДД и ПХДБФ	нг I-TEQ/ нм^3	<0,004
	Тяжелые металлы	
∑ Cd. Tl	мг/нм^3	<0,1
Hg	мг/нм^3	<0,1
∑ Sb,As,Pb,Cr,Co,Cu,Ni,Mn,V,Sn	мг/нм^3	<0,1

Результаты исследований показывают, что вне зависимости от типа печи и сжигаемого топлива выбросы металлов очень малы. Измерения для всех типов печей показывают, что типичные выбросы в случае кадмия составляют < 0,001-0,05 мг/нм^3. Суммарный выброс из шахтных печей мышьяка, свинца, хрома, меди, никеля, селена и теллура находится в пределах 0,01-0,04 мг/нм^3. Суммарный выброс выше перечисленных металлов из вращающихся печей иногда достигает 0,16 мг/нм^3. Выбросы меди из всех типов печей не превышают 0,05 мг/нм^3. Следует обратить особое внимание на возможность загрязнения горючих отходов, используемых в качестве топлива, ртутью (отходы древесины). Вследствие летучести ртути могут наблюдаться её выбросы. Поэтому следует ограничить ввод ртути с горючими отходами.

При использовании отходов измеренные выбросы ртути не превышали в случае среднесуточной величины уровня 0,03 мг/нм^3 и 0,05 мг/нм^3 в случае средней величины замеров с интенсивностью 30 мин. Суммарнный средний выброс кадмия и таллия, зафиксированный при замерах с интенсивностью 30 мин, не превышает 0,05 мг/нм^3,также при таких замерах не превышает 0,05 мг/нм^3 суммарный выброс мышьяка, кобальта, хрома, марганца, свинца, сурьмы, олова и ванадия. При этом содержание кислорода в дымовых газах 10% [46].

2.3.3.10.2 Примеры выбросов при использовании твердых отходов во вращающихся печах

На германском предприятии установлены четыре использующие твердые отходы вращающиеся печи. Выбор вида твердых отходов определяется условиями процесса сжигания и к качеству продукции. Пример контроля качества таких твердых отходов рассмотрен в разделе 4.3.4. Все вращающиеся печи оборудованы аппаратурой, обеспечивающей снижение выбросов: циклонами и электрофильтрами для снижения пылевыбросов и системой SNCR для снижения выбросов NO_x.

Осуществлялось непрерывное измерение следующих выбросов и исходные факторы, полученные из дымовых труб печей:

- пыль
- оксиды азота (NO_x)
- оксиды серы (SO_2)
- объём дымовых газов
- влажность дымовых газов
- давление дымовых газов
- температура дымовых газов
- содержание кислорода

Таблица 2.28 Количество предприятий в странах ЕС-27 с различным уровнем выбросов металлов

Металлы во всех типах топлива печей и обеспыливающих устройств	Результаты эмиссии металлов (С), мг/нм^3										
	С≤0,01	0,01<С ≤0,02	0,02<С ≤0,03	0,03<С ≤0,04	0,04<С ≤0,05	0,05<С ≤0,06	0,06<С ≤0,07	0,07<С ≤0,08	0,08<С ≤0,09	0,09<С ≤0,1	0,1<С
As	283	7	1	1	0	0	1	1	1	4	2
Cd	279	30	9	8	0	1	0	0	0	0	2
Co	248	15	1	0	3	1	0	0	0	0	0
Cr	242	30	13	13	3	1	0	0	0	0	2
Cu	254	20	6	4	1	5	7	1	1	0	3
Hg	237	27	10	6	3	0	0	0	0	0	3
Mn	206	25	11	6	5	3	3	2	1	0	13
Ni	230	36	19	14	4	0	4	0	1	0	5
Pb	292	21	9	1	2	1	1	0	0	0	3
Sb	255	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Se	139	3	5	0	0	1	0	0	0	0	0
Sn	145	33	5	5	2	4	2	0	0	2	9
Te	124	6	2	0	0	0	0	0	0	0	1
Tl	159	40	18	10	1	1	0	0	0	1	0
V	210	19	2	1	0	1	0	0	0	0	11
	Результаты эмиссии металлов (С), мг/нм^3										
	С<0,1	0,1<С<0,2	0,2<С<0,3	0,3<С<0,4	0,4<С<0,5	0,5<С<0,6	0,6<С<0,7	0,7<С<0,8	0,8<С<0,9	0,9<С<1	1<С
Zn	184	14	11	5	1	3	1	0	2	0	9

Измерительные инструменты и аналитическое оборудование соответствует DIN/ISO 14181. Результаты измерений фиксировали и в режиме «on line» передавали осуществляющей мониторинг организации. В Табл. 2.31 приведены зафиксированные в 2006 г. данные непрерывных измерений пыли и оксидов азота. Продолжительность периодов измерения менялась в связи с национальным законодательством. Так до конца 2006 г. содержание оксидов серы измеряли периодически, а непрерывные измерения начали с начала 2007 г.

Таблица 2.31 Результаты непрерывных измерений, выполненных на вращающейся печи, использующей твердое топливо [156, 164]

Параметр	Единица измерения	Величина выбросов (среднегодовая)
	Январь-октябрь 2006г	
Пыль	мг/нм^3	6,1
NO_x[1)]	мг/нм^3	376
NO_x[2)]	мг/нм^3	737
	Ноябрь-декабрь 2006г	
Пыль	мг/нм^3	4,1
NO_x[3)]	мг/нм^3	366

[1)]Выпуск мягко обожженной извести
[2)] Выпуск средне и сильно обожженной извести
[3)] Выпуск мягко, средне и сильно обожженной извести

В Табл. 2.32 приведены результаты среднесуточных измерений выбросов, выполненных периодически.

Таблица 2.32 Результаты периодических (2006 г.) измерений выбросов вращающейся печи, использующей твердое топливо [164]

Параметр	Единица измерения	Величины выбросов (среднесуточные)		
		Первые сутки	Вторые сутки	Третьи сутки
Общая органика (C)	мг/нм^3	1,7	1,7	0,2
HCl	мг/нм^3	2,0	1,2	0,9
HF	мг/нм^3	<0,1	<0,2	<0,2
SO_2	мг/нм^3	8,9	2,5	5,2
Hg	мг/нм^3	0,006	0,005	0,004
∑Cd,Tl	мг/нм^3	0,003	0,007	0,005
∑ металлы	мг/нм^3	<0,009	<0,066	<0,049
Be	мг/нм^3	<0,0001	<0,0001	<0,0001
ПХДД и ПХДФ	нг/нм^3	0,072	0,044	0,025

Стандартное состояние, сухой газ, 10,25 % O_2

2.3.4 Потери производства/отходы

При обжиге известняка может получиться побочный известковый продукт, отличающийся размером частиц и уровнем декарбонизации от требований рынка. Такой побочный продукт можно собирать непосредственно на выходе из печи в процессе её пуска или остановки, при грохочении или очистке дымовых газов. Такой побочный продукт составляет 1-5 % годовой продукции. Небольшие количества частично обожженного материала образуются при пуске и остановке печи. А это происходит с частотой от 6 месяцев до 10 лет.

Отделенные при промывке известняка, например, такие природные примеси как кремнезем, глина и особо дисперсная мелочь можно собирать и вновь использовать:

- для рекультивации или покрытия загрязненных(например, кислых) почв
- в качестве сырья при производстве цемента
- для улучшения качества почвы в сельском хозяйстве

Собираемую в рукавных фильтрах пыль можно использовать как товарную продукцию для многих целей.

2.3.5 Использование воды и очистка

Добываемые в карьере сырьевые материалы могут содержать небольшие количества глины и песка. В этом случае перед подачей в печь известняк промывают. В зависимости от природы и количества примесей расход воды на эти цели составляет 0,5-2 $м^3$/т. После использования промывная вода содержит в 1л 50-200 мл суспензии твердого вещества, что соответствует 5-20 г/л. В целом промывная вода не содержит других загрязняющих веществ.

В качестве воды для промывки известняка используют либо воду поверхностных источников, либо получающуюся при добыче грунтовую воду. Другими источниками воды являются дождевая вода и вода из артезианских скважин.

Очищенная вода вновь используется в процессе промывки. Оборотная вода восполняет 85 % необходимой для промывки воды,15 % приходится на использование свежей воды.

В результате обработки в сгустителе или при механическом обезвоживании с помощью пресса получается кек с остаточной влажностью до 20 %.

2.3.6 Шум

Образование шума сопровождает все стадии производственного процесса от добычи и подготовки сырья до процесса получения извести и складирования материалов до выгрузки и отправки готовой продукции. Например, при производстве извести подача кусков известняка в печь может вызывать шум и/или вибрацию такой интенсивности, которая требует специальных мероприятий для ослабления. Источниками шума являются:

- тяжелая техника
- желоба и загрузочные ковши
- оборудование, обеспечивающее дробление, измельчение и грохочение
- дымососы
- вентиляторы
- вибрация труб

Необходимо, чтобы предприятие соответствовало требованиям национальных стандартов, регламентирующих шумопоглощение.

2.3.7 Запах

Выделение запаха может наблюдаться при производстве извести в шахтных пересыпных печах, это вызвано тем с выбросом сероводорода. Сообщают, что при использовании в составе топлива 30 % кокса и 70 % антрацита наблюдается выброс сероводорода в количестве 6-9,5 мг/$нм^3$. В случае использования исключительно антрацита выделение сероводорода снижается от незаметного уровня до > 1,6 мг/$нм^3$.

Используемые в качестве сырья или топлива отходы могут вызывать выделение запахов, особенно на таких стадиях процесса как подготовка и складирование.

2.3.8 Мониторинг

Согласно данным Европейской известковой ассоциации опыт эксплуатации вертикальных известеобжигательных печей показывает, что для них характерна стабильность произ-

водственных показателей. Уровень выбросов может изменяться в связи с изменением химического состава известняка и/или топлива, а также параметров производственного процесса в связи с необходимостью обеспечить определенные характеристики качества продукции.

Дополнительную информацию относительно мониторинга можно найти в ссылке [151].

2.3.8.1 Непрерывные измерения

Измерения выбросов производят для подтверждения их стабильности. Для контроля печного обжига непрерывно измеряют несколько параметров производственного процесса, таким образом подтверждая стабильность процесса:

- температуру
- содержание O_2
- скорость потока воздуха
- давление.

Некоторые из этих параметров процесса характерны и связаны с выбросами, например интенсивность работы электрофильтров и пылевыбросы. Дополнительно выполнение непрерывных измерений следующих выбросов может быть целесообразно и полезно при определенных обстоятельствах:

- NO_x
- SO_2
- Пыль
- CO

Однако если в качестве топлива используют отходы, то согласно Директиве по сжиганию отходов 2000/76/EC обычно требуется непрерывный мониторинг таких выбросов как пыль и NO_X, а в некоторых случаях SO_2 и TOC. Необходимую информацию по этому вопросу можно найти в [59].

Вследствие изменчивости некоторых параметров работы целесообразен мониторинг выбросов длинных вращающихся печей. Более того, в зависимости от используемого топлива, условий процесса и соответствующих выбросов необходимо проводить дополнительные измерения [46, 54].

2.3.8.2 Периодические измерения

Помимо непрерывного мониторинга проводят периодические измерения выбросов загрязняющих веществ:

- пыли
- диоксида серы (SO_2)
- оксидов азота(NO_x)

В зависимости от расхода топлива, особенно при использовании в качестве топлива отходов необходимо выполнение измерений выбросов следующих загрязняющих веществ:

- оксида углерода(CO)
- общего органического углерода(TOC)
- хлористого водорода(HCl)
- фтористого водорода(HF)
- тяжелых металлов
- ПХДД и ПХДБФ

В некоторых случаях осуществляется мониторинг бензопирина ($C_{20}H_{12}$), относящегося к категории 2A вероятно канцероопасных для человека веществ по классификации Международной программы по химической безопасности.

2.4 Методы, рассматриваемые в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ)

В данном разделе приступают к рассмотрению общего подхода к выбору возможности достижения высокого уровня защиты окружающей среды в отраслях промышленности, рассматриваемых в настоящем документе. Рассматриваются системы экологического менеджмента, комплексные методы и соотношения подхода и технического решения «на конце трубы», но при поиске оптимальных результатов отмечается взаимное наложение этих трех подходов. Кроме того, в данном разделе рассматривается потребление известняка, энергопотребление и выбор топлива.

Однако, помимо повторного использования материалов и энергии рассматриваются проблемы профилактики, контроля, приемы рециклинга и минимизации.

Для достижения целей, сформулированных в Директиве IPPC методы подхода и технические решение можно рассматривать самостоятельно или в сочетании. В Приложении IV к данной Директиве рассматривается перечень общих соображений, которые необходимо принимать во внимание при выборе наилучшей доступной технологии и сочетания метода подхода и технического решения, отвечающих одному или нескольким из этих соображений. Далее, если возможно, для обеспечения сопоставления данных и целей, сформулированных в рассматриваемой Директиве, в сочетаниях подхода и выбора технического решения используют стандартные конструкции.

Содержанием этого раздела является не исчерпывающий перечень сочетаний метода подхода и технического решения или других существующих или разработанных в дальнейшем решений, которые могут полностью укладываться в рамки IPPC и НДТ.

Стандартная структура используется для того, чтобы подчеркнуть каждое представленное в Табл. 2.33 сочетание метода и технического решения. Так как границы упоминаемых в этой таблице элементов могут в какой-то мере накладываться друг на друга, она имеет гибкую структуру, отвечающую конкретным обстоятельствам.

Таблица 2.33 Информационное содержание каждого из рассмотренных в данном разделе сочетаний метода подхода и используемого технического решения

Вид рассмотренной информации	Содержание информации
Описание	Техническое описание метода подхода и технического решения(включая чертежи и схемы)
Эффекты для окружающей среды	Основные эффекты для окружающей среды(снижение затрат энергии, воды, сырьевых материалов, увеличение выпуска продукции, эффективности использования энергии метода и технического решения)
Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды	Взаимодействие различных методов и технических решений по защите окружающей среды. Сопоставление их эффектов для окружающей среды в целом.
Эксплуатационные показатели	Данные о потреблении и выбросах, предприятия, использующего данную методику и техническое решение(условия и методы мониторинга).Дополнительная информация ,касающаяся режимов, обслуживания и результатов контроля
Пригодность	Отмечаются виды установок, в которых могут быть использованы данные методики и технические решения, фиксируется возраст, размер установки, вид продукции, уже используемые методики и технические решения
Экономический эффект	Информация о ценах(инвестиции и эксплуатационные расходы), возможном снижении затрат сырья, энергии и образования отходов,
Движущая сила для	Местные условия и требования могут способствовать внедре-

внедрения	нию данного метода и технического решения. Информация о других(помимо защиты окружающей среды)причинах внедрения(рост производительности, безопасность)
Примеры установок	Информация об установке, где используется данный метод и техническое решение
Использованная литература	Литературные или другие источники, использованные при написании данного раздела и содержащие детали, касающиеся данного метода и технического решения

Три основных краеугольных камня - известняк, технологический процесс и готовая продукция - составляют матрицу, отражающую их взаимозависимость в производстве отвечающей требованиям рынка продукции. При этом наряду с различными типами печей и видами топлива используются различные подходы и технические решения. Качество используемого сырья - известняка, $CaCO_3$ и доломита, $CaMg(CO_3)_2$ - соответственно играет особую роль в технологическом процессе, наряду с типом печи и используемым методом и техническим решением, направленным на снижение выбросов, и конечным качеством извести. Остальными основными факторами, влияющими на выбор конструкции печи и печного оборудования, являются стоимость доступного топлива и производительность печи. Эти факторы оказывают существенное влияние на свойства получаемой извести. За последние 30 лет в мире разработаны типы печей в комбинации с топливом и использованием соответствующих методик и технических решений для снижения выбросов и производства извести различного качества.

В Табл. 2.34 приводится обзор методов и технических решений, оказавших положительное влияние на снижение выбросов при производстве извести, Перечисленные методы и технические решения более подробно рассмотрены в следующих разделах.

Стоимость осуществления методики и технического устройства для снижения выбросов оценена в зависимости от вида извести, используемой печи, размера и эффективности устройства и его индивидуальных особенностей. В разделе 2.4.5.3.5 приведены примеры, характеризующие стоимость инвестиций и эксплуатационных затрат на обеспыливающее оборудование.

Таблица 2.34 Обзор методов и технических решений, которые возможно использовать для снижения выбросов при производстве извести

Тип печей	Метод и техническое решение	Загрязняющие вещества				
		Пыль	NO_x	SO_2	CO	Прочие (HCl, HF, ПХДД и ПХДБФ)
Вращающиеся печи:	Контроль и оптимизация процесса	x	x	x	x	x
- длинные	Подбор топлива		x	x		x
- с запечным теплообменником	Проектирование печной горелки		x			
	Ввод абсорбента			x		
	Центробежные сепараторы/циклоны	x				
	Электрофильтры	x				
	Рукавные фильтры	x				
	Водное удаление пыли	x				
	Селективное некаталитическое восстановление[1)]		x			
	Селективное каталитическое восстановление[1,2)]		x			
	Удаление диффузной пыли	x				

Шахтные печи:	Контроль и оптимизация процесса		x	x
- регенеративные с параллельным потоком материала - кольцевые -пересыпные -других типов	Центробежные сепараторы/циклоны	x		
	Электрофильтры	x		
	Тканевые фильтры	x		
	Водное удаление пыли (скрубберы)	x		
	Удаление неорганизованной пыли	x		
	Впрыскивание воды			x[3)]
Помольное оборудование	Электрофильтры	x		
	Тканевые фильтры	x		
Гидраторы	Тканевые фильтры	x		
	Впрыскивание воды	x		

[1)]Применяется с 2008 г
[2)]Используется на одной печи с запечным теплообменником
[3)] HCl

2.4.1 Потребление известняка

Описание и эффекты для окружающей среды

Минимальное потребление и устойчивое использование известняка в результате обеспечения максимальной производительности печи, оптимизации добычи камня (при буровзрывных работах) и технологического процесса и в конечном счете получения товарной извести. Этого можно достичь использую оптимальную технологию обжига, позволяющую применять сырьевой камень с широкой гранулометрией, т.е. в шахтной печи с параллельным потоком материала и вращающихся печей

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Не наблюдается взаимодействия

Эксплуатационные показатели

Характеристики печей различного типа приведены в Табл. 2.15

Пригодность

Широко применяется в известковой промышленности, но обработка сырьевого камня и технология обжига зависят от качества известняка

Экономический эффект

Нет доступной информации

Движущая сила внедрения

- Ограниченная доступность известняка
- Эффект для окружающей среды вследствие увеличения полноты использования добываемого в карьере камня
- Требования законодательства

Примеры установок

Известковые предприятия в странах ЕС-27.

[54].

2.4.2 Сокращение потребления энергии (эффективность энергопотребления)

Описание и эффекты для окружающей среды

Для менеджмента энергопользованием в известковой промышленности внедрена система мониторинга использования в печах энергии.

Если ориентироваться только на эффективность энергопотребления и выбросы CO_2, шахтные печи в целом и печи с параллельным потоком материала в особенности являются наиболее эффективными. Однако хотя проблемы энергопотребления и выбросов CO_2 играют основополагающую роль, следует при выборе типа печи (см. разделы 2.2.7 и 2.3.2) и сырьевого материала учитывать и другие показатели. В ряде случаев более полный учет показателей ведет к выводу в пользу вращающихся печей, особенно более совершенных вращающихся печей.

В большинстве случаев новые печи заменяют старые, но некоторые действующие печи для снижения расхода топлива необходимо модифицировать. При этом в зависимости от особенностей конструкции ,финансовых затрат и поставленных задач может проводится модифицирование как второстепенных деталей ,так и основных элементов конструкции печи. Например:

- для регенерации тепла из дымовых газов или для использования более широкой номенклатуры топлива осуществляют установку к длинной вращающейся печи теплообменника
- использование тепла дымовых газов для сушки известняка или для других процессов, например, измельчения известняка
- в некоторых случаях, когда шахтную печь оказывается экономически нежизнеспособной, её следует подвергнуть модернизации ,например переоборудовав в кольцевую шахтную печь или объединив пару шахтных печей в регенеративнуюпечь с параллельным потоком материала. Такая модернизация продлит эксплуатацию таких дорогих элементов как конструкция печи, системы загрузки известняка его транспортирования и складирования
- в исключительных случаях для сокращения расхода топлива экономически целесообразно сократить длину вращающейся печи, присоединив её с запечным теплообменником
- для снижения затрат электроэнергии используют энергосберегающее оборудование

Положительно влияют на энергопотребление приведенные здесь мероприятия по повышению эффективности использования энергии:

- контроль технологического процесса- коэффициент избытка воздуха и скорость его течения
- техническое обслуживание оборудования- ликвидация подсосов воздуха, нарушения огнеупорной футеровки
- оптимизация гранулометрии сырья

В Табл. 2.35 перечислены распределенные по системам печи опции, направленные на повышению эффективности потребления энергии в производстве извести

Таблица 2.35 Методы, направленные на повышение эффективности энергопотребления известеобжигательных печей [168, 177]

Элемент конструкции печи	Описание	Типы печей				
		1	2	3	4	5
Система сжигания топлива	Использование эффективных регулируемых горелок, соответствующих температурному профилю получения продукции	x	x			
Система сжигания топлива	«Он лайн» мониторинг горения и избытка воздуха	x	x			
Система сжигания топлива	Контроль горения при анализе дымовых газов			x	x	x
Система сжигания топлива	Использование гибкой системы сжигания топлива, позволяющей смешивать топливо с	x	x	x	x	x

	отходами					
Холодильник	Эффективный холодильник, позволяющий усреднять распределение воздуха и выгрузку извести и т.о. снизить расход воздуха	x	x	x	x	x
Холодильник	Установка надежной измерительной техники	x	x			
Контур дымовых газов	Система использования тепла	x				
Контроль материалов	Регулярный отбор топлива и камня для контроля их соответствия условиям процесса	x	x	x	x	x
Контроль материалов	Для контроля гранулометрии и повторного грохочения	x	x	x	x	x
Контроль материалов	Установка надежного весового/измерительного оборудования для контроля топлива, сырья и скорости течения	x	x	x	x	x
Конструкция печи	Оптимизация отношения длины и диаметра новых печей	x	x	x	x	x
Собственно печь	Внутренние огнеупорные устройства для улучшения теплообмена и минимизации расслоения	x	x			
Собственно печь	Установка теплоизоляции для минимизации теплопотерь стенками	x	x	x	x	x
Собственно печь	Снижение подсосов воздуха уплотнением головки и загрузочного конца печи	x	x			
Собственно печь	Регулярная очистка желобов			x	x	x
Печь и теплообменник	Сокращение подсосов для контроля избытка воздуха			x	x	x
Операции в печи	Системы автоматизированного контроля тяги в головке печи, избытка воздуха, расхода топлива, оборотов печи	x	x			
Операции в печи	Системы наблюдения за ключевыми параметрами процесса	x	x	x	x	x
Операции в печи	Унификация производственных условий	x	x	x	x	x
Операции в печи	Анализ причин остановок и поломок	x	x	x	x	x
Теплообменник	Оптимизация потерь давления		x			
Контроль качества	Регулярный отбор и анализ проб извести	x	x	x	x	x

Условное обозначение: 1-длинные вращающиеся, 2- вращающиеся с запечным теплообменником, 3- регенеративные с параллельным потоком материала, 4-шахтные кольцевые, 5-шахтные пересыпные печи и печи другой конструкции

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Если доступ к природным ресурсам затрудняется, следует на местном уровне найти баланс между оптимальным использованием энергии и месторождения

Эксплуатационные показатели

Обычно самыми высокими в себестоимости производства извести являются стоимость топлива и электроэнергии, и поэтому необходимо проведение эффективных мероприятий для минимизации себестоимости продукции. Иногда в Германии экономия электроэнергии при измельчении негашеной извести достигается заменой обычных мельниц валковыми мельницами высокого давления. При этом достигается снижение расхода электроэнергии на 2,5 кВтч/т негашеной извести. В некоторых случаях экономия электроэнергии в 2,9 кВтч/т негашеной извести достигается при замене влажных скрубберов на рукавные фильтры [46].

Пригодность

Пригодны для всех типов известеобжигательных печей.

В вертикальных шахтных печах обычно обжигают крупнокусковой известняк. Характеризующиеся более высоким расходом энергии, вращающиеся печи могут обжигать более мелкие фракции, а современные вертикальные печи материал размером до 10 мм. Более крупный материал используют скорее всего в вертикальных печах.

Экономический эффект

Отсутствует доступная информация

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства
- Природные ресурсы
- Снижение себестоимости

Примеры установок

Известеобжигательные печи стран ЕС-27

[46, 54, 168]

В этой связи полезную информацию можно получить в справочном документе, рассматривающем оптимальную технологию по энергосбережению [181].

2.4.3 Оптимизация процесса контроля

Описание

Оптимизация системы автоматического управления процессом, используемой на большинстве стадий технологического процесса производства извести. Поддержание близкими к оптимальным значений параметров, контролирующих работу печи, способствует снижению всех расходных показателей процесса обжига извести и выбросов. Это среди прочего снижает количество остановок и нарушений режима работы печи. Системы менеджмента могут действовать таким образом, чтобы обеспечить хорошие условия эксплуатации и мониторинг их соблюдения.

Эффекты для окружающей среды

Мероприятия по оптимизации контроля технологического процесса положительно влияют на энеропотребление и выбросы

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Отсутствуют

Эксплуатационные показатели

Зависят от поставленных при оптимизации задач

Пригодность

В разной мере пригодны на всех известковых печах

Полная автоматизация производственного процесса, так как её невозможно увязать с качеством получаемой извести

Экономический эффект

В зависимости от поставленных при оптимизации задач

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры использования

Известеобжигательные печи стран ЕС-27 [54]

2.4.4 Выбор топлива(включая горючие отходы)

Описание

Известковое производство является энергоемким производством (см. раздел 2.2.4).В зависимости от химического состава топлива и типа используемой печи выбор соответствующего топлива или топливной смеси может способствовать снижению выбросов и повысить эффективность его сжигания, например:

- использование низкосернистого топлива приводит к снижению затраты энергии на выброс SO_2. Однако вследствие того обстоятельства, что выделяющаяся из топлива сера поглощается известью , использование в известковом производстве некоторых видов топлива с повышенным содержанием серы не связано с выбросом SO_2.
- использование биомассы снижает потребление ископаемого топлива
- использование в качестве топлива отходов снижает расходование ископаемого топлива и связанные с этим выбросы CO_2(см раздел 2.2.5).Твердое ископаемое топливо вызывает более высокие выбросы CO_2.

За исключением шахтных пересыпных все печи другой конструкции могут использовать все виды топлива. Некоторые из них в процессе обжига извести используют лишь одно топливо, но большинство печей работает на топливной смеси. В зависимости от конструкции печи использую газообразное, твердое и ли твердое топливо. В зависимости от типа печи твердое топливо используют в виде кусков, либо измельчают либо используют сочетание кускового и измельченного топлива. Вплоть до 2008 г. наиболее распространенными видами топлива в странах ЕС являются природный газ и такое твердое топливо, как бурый и каменный уголь, кокс и нефтяной кокс. При этом также используют жидкие виды топлива, отходы и/или биомассу с высокой теплотворной способностью и активностью.

Выбор в качестве топлива подходящих для технологического процесса и горелок горючих отходов (например, отработанных смазочных материалов и растворителей, животного жира, жидких отходов и т.п) среди различных характеристик, критериев и таких свойств как, например, высокие теплотворная способность и активность, пониженное содержание серы, хлора, металлов и золы, а также доступность снижает степень использования природного топлива(см. раздел 2.2.5). Для гарантирования свойств горючих отходов необходима система гарантий качества. Она в частности включает отбор проб, их подготовку, анализ и внешний мониторинг. Больший объём информации по данному вопросу можно найти в технических условиях Европейской комиссии CEN/TC 343 «Регенерация твердого топлива».

Эффекты для окружающей среды

Выбор подходящего топлива или топливной смеси может привести к снижению выбросов и к повышению эффективности горения.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

В зависимости от химического состава топлива и типа печи может наблюдаться повышение выбросов.

Следует отметить, что при использовании отходов могут появиться дополнительные выбросы.

Кроме того, изменение состава топлива часто приводит к изменению удельного(на 1т извести) энергопотребления .В зависимости от вида отходов ,используемых в качестве топлива, и их теплотворной способности годовые затраты тепловой энергии могут возрасти; такое положение наблюдается, например, в цементной промышленности(см раздел1.3.3).

Эксплуатационные показатели

При изменении состава топливной смеси может меняться удельный расход энергии по следующим причинами в ьлм числе в зависимости от вида топлива и его теплотворной способности. Из литературы известно, что природное топливо характеризуется следующей средней теплотворной способностью, так в случае основной массы углей она составляет 26-30 МДж/кг и 40-42 МДж/кг для типичного мазута, а для таких горючих отходов как пластические материалы этот показатель составляет 17-40 МДж/кг. Надо отметить, что теплотворная способность таких горючих отходов меняется в очень широком диапазоне ль 3 до 40 МДж/кг. Следует отметить , что горючие отходы с теплотворной способностью меньше 18 МДж/кг не подходят для производства извести вследствие содержания золы и влаги(см. Табл 4.41). Сообщают, что теплотворная способность используемой в известеобжигательных печах животной муки (получаемой при переработке туш) находится в пределах 14-21,6 МДж/кг.

Пригодность

В принципе в печи любой конструкции можно сжигать различные виды топлива ,но для этого необходимо соответствующее техническое оборудование. В частности, должно быть оборудование для приема и хранения различных видов топлива. Печи должны быть оборудованы приспособлениями или топливными трубками для сжигания топлива, Большинство предприятий ЕС в зависимости от их расположения и упомянутых выше экономических факторов в большей или меньшей степени обладают достаточной гибкостью при выборе топлива. При этом изменение вида топлива сопряжено со значительными инвестициями.

Как было отмечено при использовании в качестве топлива жидких отходов необходимо обеспечить их пониженную вязкость - для этого топливо часто подогревают до 60-70 ^{0}С.Кроме того, при использовании животного жира, который отверждается при температуре 40 ^{0}С, вследствие его вязкости возможно забивание труб и соединений. Поэтому для того, чтобы использовать животный жир при температурах выше 40 ^{0}С, необходимо обеспечить его дополнительный подогрев.

Рыхлое твердое топливо можно использовать только во вращающихся печах. Кроме того, измельченные отходы можно использовать в качестве топлива во вращающихся печах, в регенеративных печах с параллельным потоком материала и в шахтных печах особой конструкции. Однако ввиду высокой стоимости измельчения в 2008 г. измельченные отходы не использовали в качестве топлива для известеобжигательных печей.

Выбор соответствующего топлива зависит от типа печи, необходимого качества продукции, доступности топлива и технических возможностей его подачи в данную печь. Это ограничивается:

- его физико-химическими свойствами, которые часто не соответствуют физическим, химическим или технологическим требования
- доступностью на рынке и гарантией поставок в будущем
- экономическими соображениями
- уровнем выбросов.

Информацию относительно использования отходов в качестве топлива можно найти в разделе 2.2.5.

Экономический эффект

Наиболее важными являются следующие экономические показатели : стоимость самого топлива ,т.е стоимость топлива, расходуемого на 1т извести, которая может составить 30-60 % стоимости продукции

- соотношение меняющейся во времени цены природного газа и твердого топлива
- стоимость квот на выброс CO_2
- стоимость инвестиций в оборудование для использования конкретного топлива: для его хранения, транспортирования, сушки, измельчения , вдувания и обеспечения мер безопасности

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства
- Экономическая ситуация
- Местные условия

Примеры использования и литературные источники

Известковые предприятия ЕС-27

[54, 143, 155, 168, 182]

2.4.5 Выбросы пыли

В настоящем разделе рассматриваются мероприятия, препятствующие выбросу твердых примесей (см. раздел 2.3.3.1.1) и диффузной пыли (см раздел 2.3.3.1.2) в атмосферу.

В этом контексте полезную информацию можно найти в документации по оптимальному оборудованию для предотвращению выбросов при хранении сыпучих и опасных материалов, а также жидких и газообразных сбросов и выбросов [58, 96]

2.4.5.1 Технические решения для устранения пылевыбросов

Описание

Некоторые из рассматриваемых здесь технических решений могут использоваться по отдельности и в сочетании друг с другом (см. раздел 2.3.3.1.2):

- проведение таких операций, связанных с выбросами пыли, как измельчение. грохочение и перемешивание в закрытых помещениях
- покрытие конвейров и элеваторов, которые конструируют как закрытая система
- использование для хранения силосов надлежащей вместимостью, оборудованных индикаторами уровня, распределительными устройствами и фильтрами для запыленного воздуха
- предпочтительно в пневмотранспортной системе использовать замкнутый цикл
- транспортирование проводить в закрытой транспортной системе при разрежении и осуществлять очистку выбрасываемого воздуха в атмосферу с помощью рукавного фильтра
- снижение подсосов воздуха и просыпей установкой уплотнений
- использование надлежащей изоляции
- использование автоматических устройств и контрольных систем
- осуществлять непрерывные безопасные операции
- использовать при погрузки гибкие трубы, оборудованные системой пылеудаления

Эффекты для окружающей среды

- Снижение выбросов первичной диффузной пыли
- С помощью изоляции оборудования возможно добиться снижения уровня шума

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Вследствие использования вакуумных систем возрастает энергопотребление

- При техническом обслуживании могут возникать дополнительные отходы

Эксплуатационные показатели

В зависимости от конкретных условий используют соответствующее техническое решение

Пригодность

Все упомянутые технические решения применимы в условиях известкового производства.

При таких операциях по подготовке сырьевых материалов, как дробление и просеивание, из-за содержания в сырье влаги нельзя использовать обычную систему сбора пыли. Для снижения выбросов пыли сырьевые материалы можно дополнительно увлажнять разбрызгиванием воды.

Экономический эффект

В зависимости от конкретных условий используют соответствующее техническое решение

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства
- Требования производственной техники безопасности

Примеры использования и литературные источники

Известковые предприятия ЕС-27

[46, 54]

2.4.5.2 Технические решения для хранения сыпучих материалов и штабелей

Описание и эффект для окружающей среды

Для того, чтобы изначально снизить неорганизованные выбросы пыли из расположенных на открытом воздухе хранилищ сыпучих материалов, штабелей и прочих источников пылящих сырьевых материалов или топлива, эти источники пыли необходимо изолировать экранированием, устройством перегородок или вертикальной растительностью(с помощью искусственных или природных препятствий для раздувания пыли ветром)

Использование для хранения материалов силосов или полностью автоматизированных хранилищ рассматривается как эффективное решение проблемы выбросов диффузной пыли из объёмных штабелей. Для предотвращения выбросов диффузной пыли в ходе операций погрузки и выгрузки такие хранилища оборудуют одним и более тканевым фильтром. Снижения выбросов штабелями диффузной пыли можно добиться соответствующим увлажнением на участках загрузки и выгрузки и использованием расположенных на надлежащей высоте конвейеров. В том случае, если не удается избежать выбросов диффузной пыли, их уровень можно снизить подбором высоты разгрузки и высоты хранящегося материала. Эти операции проводят либо в автоматическом режиме, либо снижением скорости разгрузки.

Кроме того, такие участки (если они расположены в сухой местности) следует увлажнять специальными разбрызгивающими устройствами и очищать специальными грузовиками. В том случае, если техническое решение связано с использованием увлажнения или разбрызгивающих устройств, необходимо уплотнить поверхность основания и обеспечить сбор избыточной воды, которую можно использовать в замкнутом оборотном цикле.

Для предотвращения выбросов диффузной пыли при разгрузочных операциях их предлагается осуществлять под вакуумом. Новые постройки можно легко оборудовать стационарными системами для вакуумной очистки, в существующих строениях предпочтительно использовать мобильные системы с гибкими соединениями. Для снижения выбросов диффузной пыли на участках поверхности, где передвигаются грузовики, эти по-

верхности по возможности иметь покрытие, поверхность которого необходимо очищать. Увлажнение поверхности покрытия особенно в сухую погоду может способствовать снижению выбросов диффузной пыли. Для снижения таких выбросов до минимума следует обеспечить содержание помещений в чистоте.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- При осуществлении локальных увлажнений растет расход воды.
- Использование вакуумных систем связано с увеличением расхода электроэнергии.
- В процессе обслуживания оборудования могут появиться дополнительные отходы

Эксплуатационные показатели

В зависимости от конкретных условий используют соответствующее техническое решение.

Пригодность

Все упомянутые технические решения применимы в условиях известкового производства.

Экономический эффект

В зависимости от конкретных условий используют соответствующее техническое решение.

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства.
- Требования производственной техники безопасности.

Примеры использования и литературные источники

Известковые предприятия ЕС-27

[46, 54, 168]

2.4.5.3 Сокращение источников выбросов пыли

В этом разделе рассматриваются технические решения, направленные исключительно полное удаление пыли (см. раздел 2.3.3.1.1). На известковом заводе основными источниками выбросов пыли являются подготовка сырьевых материалов, обжиг известняка, гидратация извести, измельчение извести, а также связанные с ними вспомогательные процессы. Выбор типа используемого для удаления выбросов пыли обеспыливающего оборудования зависит от типа известеобжигательной печи. Используемое для обеспыливания оборудование использует процессы фильтрации, электростатической сепарации и влажную скрубберную очистку (дымовые газы очищают в фильтре). Использование того или иного обеспыливающего оборудования связано со следующими характеристиками дымовых газов:

- температура
- скорость течения
- влажность
- концентрация пыли на входе в фильтр

В Табл. 2.36 суммированы рассмотренные в настоящем разделе эксплуатационные характеристики. Здесь приведена обзорная информация, которую следует рассматривать в сочетании с приводимыми ниже параграфами и разделами.

Таблица 2.36 Обзор технических решений для контроля выбросов пыли на известковых заводах

Техническое решение	Применение	Характеристика выбросов [4)]	Цены [3)]	
			Инвестиции	Эксплуатация

		мг/нм^3 1)	кг/т 2)	Млн. евро	
Электрофильтр	Все типы печей, мельницы, вспомогательные процессы	<10-<20	0,015-0,1	0,6-3,9	>1,5
Тканевые фильтры	Все типы печей	<10-<20	0,015-0,15	0,25-1,7	>1,5
	Мельницы, вспомогательные процессы	<10-<20	0,015-0,05		
Влажное пылеудаление	Все типы печей, гидраторы	10-30	0,06-0,25		
Центробежные сепараторы	Для предварительной очистки все типы печей, мельницы, вспомогательные процессы				
Улавливание диффузной пыли					

1)Сухой газ при 273^{0}К,101,3 кПа,11% O_2;
2)кг/т извести рассчитано исходя из:
3000 нм^3/т извести шахтные кольцевые и регенеративные с параллельным потоком
3700 нм^3/т извести вращающиеся печи с запечным теплообменником
5700 нм^3/т извести длинные вращающиеся печи
3) Исходя из различной мощности печей ,см рис 2.46 и табл. 2.37
4) Характеристики выбросов можно найти в соответствующих параграфах этого раздела

Электростатические осадители (электрофильтры) и тканевые фильтры при нормальном режиме эксплуатации характеризуются очень высокой степенью обеспыливания, превышающей 99%, однако на этот показатель влияет размер частиц пылевыбросов. Тип фильтра подбирают в зависимости от температуры отходящих газов. Фильтры этих типов для обеспечения соответствующей эффективности требуют периодического обслуживания . Эффективность таких фильтров выше, чем при влажном пылеудалении. При влажном пылеудалении в связи с использованием воды и сбросов нуждающихся в обработке водных отходов затрачивается дополнительная энергия. На эффективность электростатических осадителей влияет наличие СО, однако как следует из раздела 4.2.6 содержание СО можно минимизировать. Центробежные сепараторы используются на стадии предварительной очистки, однако их эффективность с ростом содержания загрязняющего материала возрастает. Информацию по удалению диффузной пыли см. в разделах 2.4.5.1 и 2.4.5.2.

2.4.5.3.1 Электрофильтры

Описание и эффект для окружающей среды

В электростатическом осадителе дымовые газы проходят через камеру с двумя электродами. На первый электрод подается высокое (до 100 кВ) напряжение, ионизирующее дымовые газы. Образующиеся ионы прилипают к находящимся в дымовых газах частицам пыли, в результате частицы приобретают электрический заряд. Электростатические силы отталкивают заряженные частицы пыли от первого электрода и притягивают их ко второму, где они оседают. Таким образом, частицы пыли удаляются из потока дымовых газов.

Электростатические осадители создают электрическое поле на пути дисперсного материала в воздушном потоке. Эти частицы приобретают отрицательный заряд и перемещаются к положительно заряженным улавливающим пластинам. Улавливающие пластины периодически вибрируют, сбрасывают находящийся на них материал в расположенные

снизу сборные бункеры. Для электростатических осадителей характерна способность работать в условиях повышенных (до 400 ^{0}C) температур и влажности. На их эффективность влияют скорость дымовых газов, сила электрического поля, электропроводность пыли, концентрация SO_2, влажность форма и поверхность электродов. Следует отметить, что электрическое поле ослабляется в результате образования на поверхности улавливающих пластин изолирующего слоя материала (Рис. 2.43).

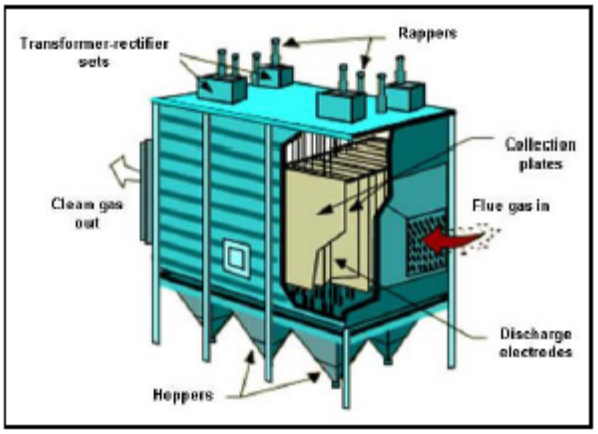

Рис 2.43 Принципиальная схема обычного электростатического осадителя

Transformer-rectifier – трансформатор- выпрямитель ;Clean gas out-выход очищенного воздуха ;Hoppers-бункеры ;Discharge electrodes-разгрузочные электроды; Flue gas in-подача дымовых газов ;Collection plates-улавливающие пластины ; Rappers-вибраторы.

Ввиду опасности взрывов безопасная концентрацию CO на входе в электростатический осадитель поддерживают на уровне 1-2 %, что существенно ниже взрывоопасного предела в 10 %. Ввиду того, что следует устранить риски, связанные с CO, необходимо обеспечить непрерывный мониторинг содержания CO перед фильтром. Содержание CO снижают с помощью современной системы контроля, обеспечивающей быстрое определение и наличие контрольного оборудования, позволяющего обеспечит отключение. В разделе 4.2.6 приведена информация, касающаяся контроля содержания CO.

Для обеспечения полноты удаления выбросов ПХДД перед электростатическим осадителем устанавливают охлаждающую башню.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Опасность взрывов при высокой концентрации CO
- При использовании электростатического осадителя возрастает расход электроэнергии (но при малых сопротивлениях системы, сопоставимыми с сопротивлениями других фильтров, затраты энергии меньше)
- Образуются другие отходы

Эксплуатационные показатели

При стабильном режиме электростатические осадители могут устойчиво обеспечить выбросы пыли 5-20 мг/нм^3 (см. раздел2.3.3.1.1). В 2005 г. некоторые финские известковые заводы показали при обжиге во вращающихся печах на коксе и угле выбросы при точечных измерениях ниже 5 мг/нм^3.

Эффективность электростатических осадителей можно повысить последовательной установкой камер (электрических полей). Но такое решение эффективно только в том случае, если наблюдается высокий уровень выбросов пыли и достаточное пространство для их установки.

Пригодность

Электростатические осадители можно использовать при температурах превышающих точку росы и ниже 400 ^{0}C (при использовании конструкций из мягкой стали). Имеется опыт использования электростатических осадителей при температуре ниже точки росы.

Ввиду больших объёмов потоков и относительно высокой пылевой нагрузке большинство вращающихся как с запечным теплообменником так и без него оборудуют электростатическими осадителями. Иногда это связано с высокой температурой отходящих газов, в других - вследствие высокой производительности печей образуются большие объёмы газов. При сочетании с охлаждающей башней достигаются отличные показатели.

Экономический эффект

С ростом размеров печи и суточной производительности инвестиции при установке электростатического осадителя несколько выше, чем тканевых фильтров(см рис 2.46)

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства.
- Температура и объём дымовых газов
- Инвестиции(местные условия)
- Текущие эксплуатационные расходы
- Энергопотребление
- Надежное оборудование

Примеры использования и литературные источники

Заводы стран ЕС-27

[54, 63, 168]

2.4.5.3.2 Рукавные фильтры

Описание и эффект для окружающей среды

Основным принципом устройства тканевого фильтра является фильтрация через тканевую мембрану, проницаемую для газа, но задерживающую частицы пыли. Сначала пыль скапливается на поверхности ткани и внутри конструкции. При достижении определенной толщины слоя частицы пыли попадают во внутреннее пространство фильтра. С увеличением толщины слоя пыли возрастает сопротивление прохождению газа.

Для контроля за сопротивлением прохождению газа необходима периодическая очистка фильтра. Для этого используются известные методы очистки реверсивная воздушная продувка , механическое встряхивание, вибрация и пульсирующая подача сжатого воздуха

Система очистки, поток воздуха и воздушная нагрузка на ткань являются ключевыми понятиями для эффективной фильтрации. Такие фильтры должны быть многокамерными, это связано с удорожанием и увеличением поверхности и объёма фильтра. Введу возможного разрушения рукавов камеры должны быть так изолированы друг от друга, чтобы при этом сохранялась возможность их эксплуатации при выполнении обслуживания. В каждой камере должны быть установлены детекторы разрыва рукавов, сигнализирующие о необходимости проведения ремонта.

Собранную пыль складируют в так называемом «пыльном» бункере, составляющем часть пространства камер. Пыль удаляют шнековыми конвейерами, через откидную заслонку и шаровой затвор (см. Рис. 2.44).

Тканевые фильтры могут работать под давлением и при разряжении.

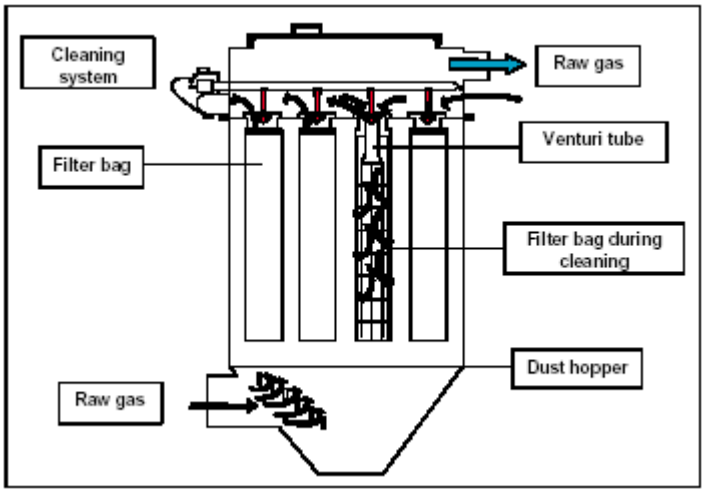

Рис 2.44 Схема рукавного фильтра с пульсирующей очисткой

Cleanung system-система очистки ;Filter bag-фильтрующий рукав; Raw gas-запыленный газ ; Dust hopper- бункер пыли ; Venturi tube-трубка Вентури ; Filter bag during cleaning-фильтрующий рукав при очистке.

В зависимости от температуры отходящих газов используют тканевые фильты с различной фильтрующей средой. Причиной коротких сроков эксплуатации тканевых фильтров являются:

- повышение температурных параметров
- снижение температурных параметров
- колебание температурных характеристик
- состав дымовых газов
- поведение известковой пыли - забивание пылью

Во всех случаях короткий срок эксплуатации рукавов может быть связан с недостаточными размерами фильтра. Эта проблема была решена увеличением размеров фильтра, в результате была обеспечена его двухлетняя эксплуатация с содержанием пыли менее 5 мг/нм^3. Используют рукава из специального материала с особыми свойствами, но и в этом случае возникают проблемы, связанные с коротким сроком эксплуатации. Так на одном предприятии с чрезмерной температурой эксплуатации полагают, что причина заключается именно в этом [24].

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Увеличение удельного расхода энергии вследствие высокого сопротивления, связанного с фильтрующей средой и наличием слоя пыли
- Увеличение энергопотребления и выбросов CO_2 вследствие дополнительного подогрева дымовых газов с высокой влажностью и пониженной(< 120 ^{0}C) температурой для предотвращения коррозии фильтра и забивания рукавов.
- Эксплуатация тканевых фильтров особенно при использовании для очистки пульсирующего давления может создать шум
- В некоторых случаях небольшие нарушения, связанные с развитием еще не диагностируемой коррозии, могут создать условия для байпасирования и увеличения выбросов пыли по сравнению с наблюдаемым при нормальном режимом эксплуатации.
- Недостаточная фильтрующая поверхность может привести к слишком высокой скорости фильтрации, при которой в него засасывается холодный наружный воздух. Образование дополнительных отходов

Эксплуатационные показатели

Тканевые фильтры обычно работают при температурах, превышающей точку росы до 180-200 ^{0}C, а при использовании специальной фильтровальной ткани типа стекловолокна или тефлона - при температурах до 250 ^{0}C. При этом они могут использоваться при температуре, соответствующей точке росы для обработке выбросов гидраторов.

При условии хорошего проекта и соответствующих режимах эксплуатации и обслуживания тканевые фильтры (непрерывные обеспыливающие тканевые рукава) обеспечиваются выбросы пыли не более 10 мг/нм^3 (60 % установленных в странах ЕС-27), в отчетах зафиксированы 20 мг/нм^3. На одном финском предриятии выбросы, измеренные один раз

в год, составили в 2004 г. 0,7-1,1 (при O_2 равном 4,3 %) и 1,7-2,2 мг/нм^3 при таком же уровне O_2 в 2005 г. Такие выбросы достигнуты при эксплуатации использующей легкий и тяжелый мазут шахтной кольцевой печи с тканевым фильтром. Кроме того, в Финляндии в 2004 г. использующая в качестве топлива кокс регенеративная печь с параллельным потоком материала достигла при использовании тканевого фильтра выбросов 6 мг/нм^3 (при O_2 9,6 %) (см. Табл. 4.37). В 2005 г. у кольцевой шахтной печи с тканевым фильтром выбросы пыли при отдельных измерениях достигали 1,7-2,2 мг/нм^3.

Мониторинг эффективности и нагрузки рукавов тканевых фильтров обычно производят по снижению давления запыленного и очищенного воздуха. Тканевые фильтры характеризуются высокой удерживающей способностью, составляющей в зависимости от гранулометрии частиц от 98 до 99,9 %; такие фильтры можно устанавливать на всех типах печей (см. раздел 4.3.2.3).

Пригодность

Тканевые фильтры для удаления пыли из отходящих газов можно в принципе использовать на всех типах печей известкового производства. Они хорошо подходят для печей, мельниц и другого помольного оборудования негашеной извести, а также известняка, гидраторов, транспортных и погрузочных устройств и хранилищ. Часто перед тканевыми фильтрами для предварительной очистки используют циклоны.

Применение тканевых фильтров лимитируется такими характеристиками дымовых газов как температура, влажность, пылевая нагрузка и химический состав. Существуют различные ткани, обладающие необходимой стойкостью к механическому, термическому и химическому износу при воздействии этих факторов.

При использовании термостойких тканей температура дымовых газов может достьигать 250^{0}C. Кроме того, газы необходимо охлаждать водой или наружным воздухом.

Низкотемпературные (<120 ^{0}C) дымовые газы с высоким содержанием влаги для предотвращения коррозии фильтра и забивания фильтрующих рукавов необходимо подогревать. Для этого перед фильтром необходимо дополнительно установить подогреватель. Кожух фильтра обычно изолируют, нагреваемые элементы изготавливают из нержавеющей стали.

Слишком высокая скорость потока дымовых газов будет снижать эффективность очистки фильтрующими рукавами. Увеличение давления очищаемого воздуха сокращает срок службы фильтрующих рукавов. Рекомендуемая скорость составляет 0,9-1,2 м/мин.

Для предотвращения разрушения фильтрующих рукавов и стальной конструкции необходимо обеспечить необходимый контроль наличия в фильтре ламинарного течения. Это осуществляется опытным путем. Проблема состоит в том, какой вид фильтровальных материалов использовать и как распределить в фильтре поток дымовых газов. С точки зрения опасности коррозии стальной конструкции необходимо обеспечит эксплуатацию при температурах выше точки росы. В некоторых случаях, когда возникают большие проблемы с коррозией, некоторые части фильтров изготавливают из нержавеющей стали.

Экономический эффект

Как показано на Рис 2.46, затраты на инвестиции тканевых фильтров с увеличением размеров печи и её суточной производительности растут (см. раздел 2.4.5.3.5). Информация о затратах на эксплуатацию и электроэнергию приведена на Рис. 2.47 и 2.46 того же раздела.

На австрийских известковых заводах стоимость установки тканевого фильтра составляет 35000-50000 евро, это стоимость собственно фильтра, сюда не входит периферийное оборудование. Эксплуатационные расходы составляют 0,5-1,0 евро/т [66].

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства.
- Температура и объём дымовых газов
- Стоимость инвестиций(местные условия)

- Текущие затраты на эксплуатацию
- Энергосбережение
- Надежность оборудования

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[24, 45, 63, 66, 168, 182]

2.4.5.3.3 Влажное пылеудаление

Описание и эффект для окружающей среды

При использовании влажного пылеудаления пыль удаляют из потока отходящих газов при их тесном контакте со скрубберной жидкостью, в качестве которой используют воду, частицы удерживаются жидкостью и могут вымываться . Устройства для влажного пылеудаления в зависимости от их конструкции и принципа действия можно разделить на несколько типов(например, с соплами),но большинство установленных на известковых печах относится к многокаскадным, многостадийным скрубберам типа, показанного на Рис. 2.45.

Прежде, чем попасть в воздух, запыленные печные газы проходят через многокаскадный/многостадийный скруббер. В скруббер закачивают воду, которая в нескольких секциях каскадом, захватывая пыль, падает вниз и затем отводится в установку для очистки. Полученный в скруббере шлам может реализовываться как материал для нейтрализации или после обезвоживания. Воду обычно регенерируют.

Существует ряд различных типов скрубберов, позволяющих осуществлять удаление пыли. К основным типам, используемым на известеобжигательных печах, относятся многокаскадные/многостадийные скрубберы для влажной обработки, динамические скрубберы для влажной обработки и скрубберы Вентури для влажной обработки. Основная масса используемых на известеобжигательных печах скрубберов для влажной очистки являются многокаскадными/многостадийными типа показанного на Рис 2.45. Для достижения снижения содержания пыли в очищенном газе размеры скруббера должны быть увеличены, в нем должны быть установлены дополнительные каскадные секции или необходимо снизить пылевую нагрузку промывкой камня.

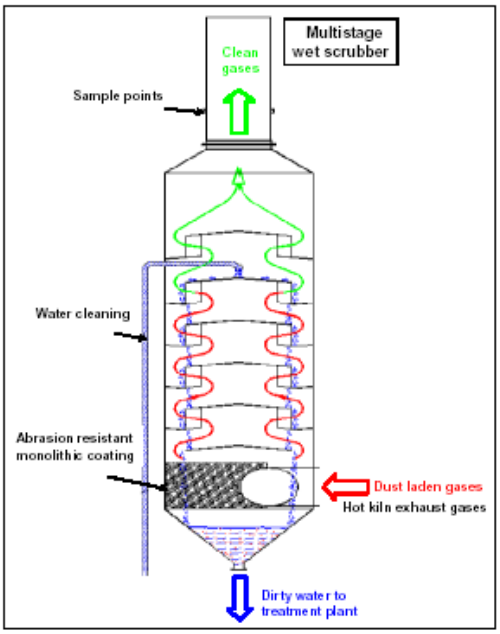

Рис 2.45 Сема очистки отходящих газов в многостадийном скруббере

Clean gases-очищенные газы ; sample points- точка отбора проб; Multistage wet scrubber-многостадийный влажный скруббер ; Water cleaning-очищающая вода ; Abrasion monolithic coating-износостойкое монолитное покрытие;Dust laden gases, hot kiln exhaust gases-содержащие пыль газы, горячие отходящие печные газы ;Dirty water to treatment plant-загрязненая вода на обработку

В оборудованном системой сопел скруббере Вентури газ ускоряется при прохождении через трубопровод, где скорости достигают 60-120 м/с. Подаваемая вверх по течению

трубопровода вода пневматически разбивается на мелкие капли и тщательно смешивается с газом. Частицы пыли захватываются каплями, утяжеляются и легко удаляются с помощью связанного со скруббером разгрузочного сепаратора (обычно циклонного типа).

Собираемый материал представляет собой шлам, и поэтому исключаются выбросы диффузной пыли при его транспортировании. При постоянной подаче воды скруббер для влажной очистки работает устойчиво, не требуя замены изношенных элементов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Увеличится расход воды
- Очищенные газы содержат больше влаги
- В результате этого в печных газах может наблюдается шлейф
- Образуется дополнительное количество загрязненной воды
- Следует учитывать необходимость очистки скрубберной жидкости и загрязненной воды, транспортирования шлама, его утилизации и хранения
- На обработку загрязненной воды необходим дополнительный расход энергии
- Возможно возникновение шума
- Для достижения снижения содержания пыли в очищенном газе размеры скруббера должны быть увеличены , в нем должны быть установлены дополнительные каскадные секции или необходимо снизить пылевую нагрузку промывкой камня.

Эксплуатационные показатели

После обработки помощью скрубберов для влажной очистки нового поколения содержание пыли составляет 10-30мг/нм^3, это соответствует 0,008-0,024 кг/т гидратной извести. В 2007 г. в Великобритании наиболее современные скрубберы обеспечили содержание в очищенных газах 11, 17 и 18 мг/нм^3. Однако сообщают и о выбросах до 60 мг/нм^3(во влажных условиях) [168, 177].

При эффективной эксплуатации многокаскадные/многостадийные скрубберы влажной очистки могут достичь при очистке концентраций менее 30 мг/нм^3, но в большинстве случаев выбросы превосходят этот показатель. Рис. 2.35 (см. раздел 2.3.3.1.1) показывает, что примерно 30 % установленных скрубберов обеспечивают уровень очистки ниже 30 мг/нм^3, примерно 12 % - ниже 20 и менее 10 % - ниже 10 мг/нм^3.

По сравнению с электростатическими осадителями и тканевыми фильтрами скрубберы влажной очистки обеспечивают меньшую степень очистки.

Пригодность

- Скрубберы влажной очистки используют в тех случаях, когда температура отходящих газов близка или ниже точки росы. Их используют при ограниченном пространстве
- Скрубберы иногда используют и при высокотемпературных газах , в этом случае вода охлаждает газы и снижает их объём

Экономика

При учете эксплуатационных затрат следует принимать во внимание расходы на скрубберную жидсость и на процесс очистки загрязненной воды

Движущая сила внедрения

Требования законодательства.

Примеры использования и литературные источники

Известковый завод Shapfell Limeworks (Великобритания)

[54, 168, 177, 182]

2.4.5.3.4 Центробежные сепараторы/циклоны

Описание и эффект для окружающей среды

В центробежном сепараторе/циклоне подлежащие удалению из газового потока частицы пыли отбрасываются от наружных стен под воздействием центробежной силы и удаляются через отверстие в дне устройства. Центробежные силы создаются либо в результате направления газового потока в нисходящее спиральное движение через цилиндрический объём(циклонный сепаратор), либо вращением установленного в устройстве рабочего колеса(механический центробежный сепаратор). Однако указанное пылеосадительное оборудование ввиду ограниченной его эффективности удаления частиц пыли различного размера пригодно лишь для стадии предварительной очистки. Их устанавливают перед электростатическими осадителями и тканевыми фильтрами для снижения пылевой нагрузки и снижения абразивных воздействий

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

При работе центробежные сепараторы могут стать источниками шума

Эксплуатационные показатели

Типичные циклоны удаляют около 90 % пыли из известеобжигательных печей. При использовании их для предварительной очистки они обеспечивают снижение выбросов пыли до 150 мг/нм^3.

Центробежные сепараторы лучше работают при более высоком содержании загрязняющего вещества при условии, что он не будет заблокирован.

Пригодность

Циклоны относительно дешевы и просты в эксплуатации, они обеспечивают удаление мелких частиц. Если размер частиц слишком мал, применение центробежных сепараторов/циклонов ограничено. Поэтому это оборудование используют для предварительной очистки отходящих газов из мельниц, печей и из других установок.

Циклоны относительно дешевы по сравнению с электростатическими осадителями и тканевыми фильтрами

Экономика

Стоимость инвестиций при установке электростатических осадителей и тканевых фильтров в зависимости от размера печей и их суточной производительности приведена на Рис. 2.46, а на Рис. 2.47 и 2.48 показаны эксплуатационные расходы и затраты на электроэнергию (см. раздел 2.4.5.3.5).

Движущая сила внедрения

- Требования законодательства.
- Сбережение сырьевых материалов

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы ЕС-27

[16, 54, 168, 182]

2.4.5.3.5 Примеры стоимости различных способов очистки дымовых газов

В Табл. 2.37 приведены примеры стоимости затрат на удаление выбросов пыли при использовании различных технологий очистки.

Для обеспыливания известеобжигательных печей используют три основных технологии:

- тканевые фильтры
- электростатические осадители

- скрубберы влажной очистки

На размер инвестиций влияют размер фильтра и условия его эксплуатации. Температура и состав газа может потребовать дополнительных приспособлений:

- изоляции
- подогрева/охлаждения
- защиты от коррозии и износа

Все это объясняет существенные различия в стоимости инвестиций: их основными составляющими являются собственно инвестиции, эксплуатационные расходы и энергозатраты.

Как следует из Рис 2.46, стоимость инвестиций электростатического осадителя по сравнению с тканевым фильтром растет с увеличением размеров печи и её суточной производительности.

На стоимость инвестиций оборудования в пределах от 300000 до 4000000 влияют производительность печного оборудования и специфика установки. На рис 2.47 и 2.48 показано, что со снижением уровня выбросов эксплуатационные расходы и энергозатраты возрастают.

В 2007 г. в Италии были обследованы 33 регенеративные печи с параллельным потоком материала и определены затраты на обеспыливание в зависимости от величины пылевыбросов. Установлена параболическая корреляция стоимости обеспыливания от концентрации в выбросах пыли. Как показано на Рис. 2.49 в пределах изменения концентрации от 20 до 50 мг/нм^3, а также в пределах 10-20 мг/нм^3 стоимость меняется в 2 раза.

В Табл. 2.37 приведены примеры расчетов затрат на обеспыливающее оборудование для французского известкового завода. В ходе исследования в качестве пылеосадительного оборудования рассматривали электростатический осадитель и тканевый фильтр. В таблице учтены различные эксплуатационные расходы в том числе стоимость электроэнергии, рабочей силы и захоронения отходов. Кроме того, в таблицу включены данные о влажной скрубберной очистке.

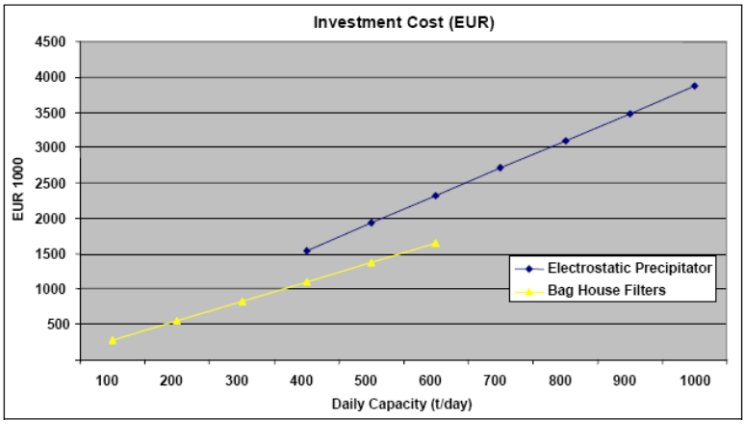

Рис. 2.46 Стоимость инвестиций электростатических осадителей и тканевых фильтров в зависимости от производительности печи в странах ЕС [54]

Investment Cost (eur)-стоимость инвестиций(евро); Electrostatic Precipitetor-электростатический осадитель ; Bag Hause Filter-тканевый фильтр ;Daily Capacity(t/day- суточная производительност(т/сут).

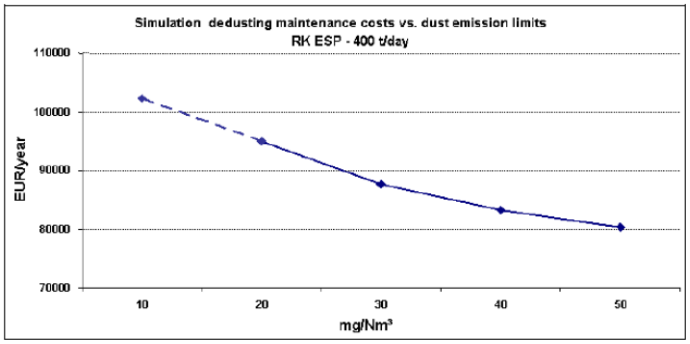

Рис. 2.47 Моделирование стоимости обеспыливания как функции пределов выброса пыли вращающейся печью, оборудованной электростатическим осадителем [54]

EUR/year-евро/год ;mg/nm^3-мг/нм^3 ;Simulation dedusting maintenance costs vs. dust emission limits RK ESP 400t/day-моделирование стоимости обеспыливания в заимости от пределов величины пылевыбросов вращающейся печи,оборудованной электростатическим пылеосадителем, с производительностью 400т/сут

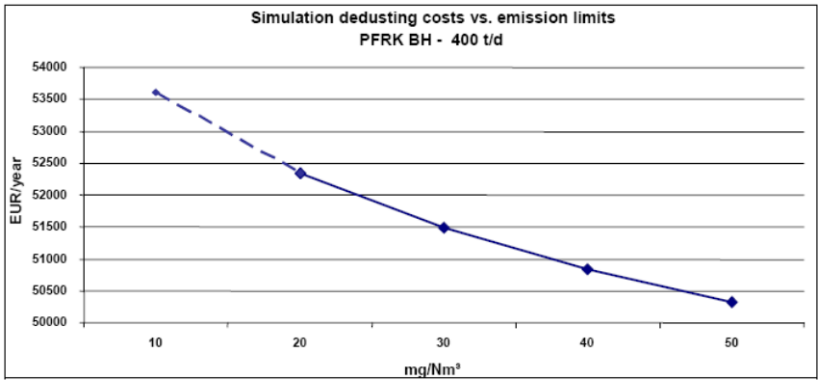

Рис. 2.48 Моделирование стоимости обеспыливания как функции пределов выброса пыли регенеративной печью с параллельным потоком материала, оборудованной тканевым фильтром [54]

EUR/year-евро/год ;mg/nm^3-мг/нм^3 ;Simulation dedusting maintenance costs vs. dust emission limits PFRK BH 400t/day-моделирование стоимости обеспыливания в заимости от пределов величины пылевыбросов регенеративной печью с параллельным потоком материала ,оборудованной тканевым фильтром , с производительностью 400 т/сут.

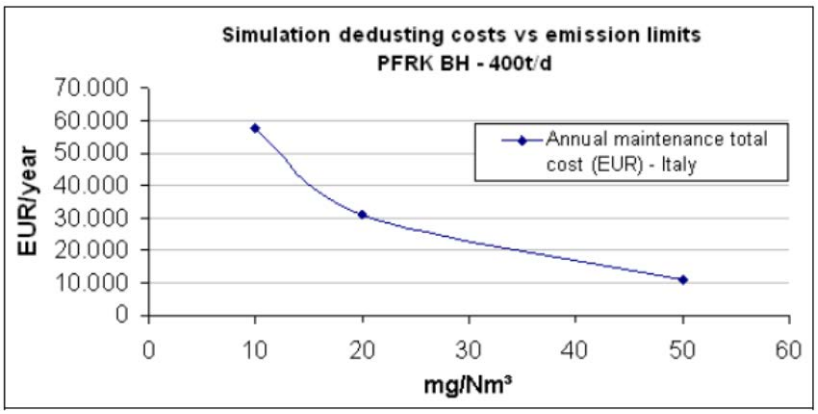

Рис. 2.49 Выполненное в Италии в 2007 г. моделирование стоимости обеспыливания как функции пределов выброса пыли регенеративной печью с параллельным потоком материала, оборудованной тканевым фильтром [168, 169]

EUR/year-евро/год ;mg/nm^3-мг/нм^3 ; Simulation dedusting maintenance costs vs. dust emission limits PFRK BH 400t/d -моделирование стоимости обеспыливания в заимости от пределов величины пылевыбросов регенеративной печью с параллельным потоком материала ,оборудованной тканевым фильтром , с производительностью 400т/сут; Annual maintenance total cost(EUR)- Italy-годовые эксплуатациионные расходы(евро)-Италия

Таблица 2.37 Стоимость инвестиций и эксплуатационные расходы на пылеосадительное оборудование [61, 62]

Стоимость инвестиций и эксплуатационные расходы на пылеосадительное оборудование

Параметры	Еденица измерения	Пылеосадительная техника		
		Электростатический осадитель[0)]	Тканевый фильтр[0)]	Влажный скруббер
Описание				
Мощность	т извести/сут.	140	140	
Мощность	т/год			50000
Годовое рабочее время	ч/год	7680	7680	
Выход отходящих газов	Нм/ч	23333	23333	
Стоимость инвестиций	1000 евро	600	700	6-18

Годовые капитальные вложения	1000 евро			
Процент прироста	%/год	4	4	
Срок эксплуатации контрольного обрудования	год	10	10	
Суммарно	1000 евро	73,97	86,30	
Суммарно	1000 евро/т извести	1,65	1,93	
Фиксированные эксплуатационные расходы	%/год[2)]	4	4	
Суммарно	1000 евро	24	28	
Суммарно	1000 евро/т извести	5,36	6,25	1-5 евро/т (0,1-0,5 евро/т)
Переменные эксплуатационные расходы	1000 евро/т извести	8,06	9,03	
Цены из расчета на т извести	1000 евро/т извести	2,99	3,45	
Стоимость удаления 1т пыли[3)]	1000 евро/т пыли			
Выброс пыли	1000 евро/т извести	0,015	0,015	
Выбросы после очистки	1000 евро/т извести	0,0002	0,0002	
Суммарно	1000евро/т пыли	0,202	0,233	
Определение переменных затрат на эксплуатацию				
Стоимость электроэнергии[4)]				
Потребление дополнительной электроэнергии[5)]	кВтч/т извести	6,86 40 кВт	8,57 50 кВт	
Стоимость электроэнергии	Евро/кВтч	0,569	0,569	
Суммарно	1000 евро/т извести	3,90	4,99	
Стоимость рабочей силы[6)]				
Потребность в рабочей силе	Чел/год т извести	1,12	1,12	
Заработная плата	1000 евро/чел год	37,234	37,234	
Суммарно	1000 евро/т извести	4,16	4,16	
Стоимость захоронения пыли[7)]				
Суммарно	1000 евро/т извести	0	0	
Переменные эксплуатационные расходы	1000 евро/т извести	8,06	9,03	

[0)] 2000г
[1)] сухой газ с 10% O_2
[2)] от инвестиций
[3)] получается сложением 50% стоимости электростатического осадителя и 50% стоимости тканевого фильтра
[4)] стоимость электроэнергии $=\lambda^{e}\cdot c^{e}/10^{3}$
[5)] потребность в дополнительной электроэнергии в результате замены оборудование
[6)] затраты на рабочую силу $\lambda^{1}\cdot c^{1}$
[7)] затраты на захоронение пыли $\lambda^{d}\cdot c^{d}$

В Табл. 2.38 приведены доли различных компонентов затрат, составляющих расходы на обеспыливание, по отношению к приведенному в Табл. 2.37 расчету стоимости и особенно по отношению к различным ценам, составляющим эксплуатационные расходы.

Таблица 2.38 Соотношение различных видов затрат, определяющих расходы на эксплуатацию обеспыливающего оборудования [61]

Вид затрат	Единица измерения	Обеспыливающее оборудование	
		Электростатический осадитель	Тканевый фильтр
Стоимость электроэнергии	%	48,42	53,99
Стоимость рабочей силы	%	51,58	46,01
Стоимость захоронения пыли	%	0	0
Итого переменные эксплуатационные расходы	%	100	100

В Австрии стоимость тканевого фильтра лежит в диапазоне 350000 - 500000 евро, а стоимость электростатического осадителя не включают в стоимость его установки [66].

2.4.6 Газовые выбросы

2.4.6.1 Снижение выбросов NO_x

Наибольшие выбросы NO_x фиксируются у вращающихся печей. По этой причине приоритетное внимание уделяется контролю выброса вращающимися печами (см. раздел 2.3.3.2).

Возможность снижения выбросов NO_x обеспечивается:

- первичными техническими решениями, ставящие целью снизить выбросы NO_x и
- вторичными техническими решениями, направленным на разрушение NO_x путем их восстановления до N_2.
- В состав первичных технических решений в частности входят:
- выбор топлива (ограничение содержания азота в топливе)
- оптимизация технологического процесса (формы факела и температурного профиля в печи)
- проектирование горелки (использование горелок, образующих пониженное количество NO_x)
- ступенчатая подача воздуха.

Эти мероприятия с точки зрения затрат наиболее эффективны, но их эффективность ограничивается конструкцией камеры горения вращающихся печей и уровнем температур, обеспечивающим необходимое качество извести.

Вторичные технические решения можно разделить на :

- селективное некаталитическое восстановление (CNCR)
- селективное каталитическое восстановление(SCR)

Оба технических решения используют соединения азота, которые взаимодействуют с оксидами азота, восстанавливая их до образования азота. Каталитические процессы требуют высоких инвестиций.

В Табл. 2.39 представлен перечень различных технических решений, направленных на снижение выбросов NO_x, которые можно осуществить на известеобжигательных печах

Таблица 2.39 Обзор мероприятий по снижению выбросов NO_x в известковой промышленности

Мероприятие	Тип печи	Эффективность	Величина вы-	Стоимость[3)]

		снижения, %	бросов [4,5)]		Инвестиции	Эксплуатационные расходы
			мг/нм3 3)	кг/т 2)		
Оптимизация процесса	[12,13.14,15]		<100 - <350 [9,10)]		106 евро	евро/т извести
	[16,17]		<200-<500 [9,10)]			
Ступенчатая подача воз-духа18)	[16,17]					
Горелки с пониженным NOx	[16,17]	0-20			В пределах затрат на обычные горелки	
SNCR10)	[17](Леполь)	30-80	<500 [10)]	<2,5	0,5-1,2 [8)]	0,1-1,77) [8)]
SCR18)	[16,17]	6)	-	-		

[1)]Для печей со средней суточной производительностью, сухие отходящие газы, 273 ^{0}К, 101,3кПа , 11% O_2
[2)]кг/т извести
3000 нм^3/т извести печи 12,13
3700 нм^3/т извести печи 17
5000 нм^3/т извести печи16
[3)]Для печей различной производительности, см рис 2.46 и табл 2.37
[4)]Стандартное состояние 11 % O2
[5)]Данные о выбросах можно найти в соответствующих параграфах этого раздела
[6)]В зависимости от используемого катализатора
[7)]Финансовая оценка исходит из испытаний печи с производительностью 1000т/сут и начальными выбросами до 1500 мг NO_x/нм^3
[8)]Аналогично цементной промышленности
[9)]Уровень зависит от требований к продукции
[10)]В зависимости от начальных выбросов NO_x
[11)]В 2007 г SNCR использовали на единственной печи Леполь
[12)] Регенеративные с параллельным потоком материала
[13)] Кольцевые шахтные
[14)] Шахтные пересыпные
[15)] Шахтные печи другой конструкции
[!6)] Длинные вращающиеся печи
[17)]Вращающиеся печи с запечным теплообменником
[18)] В 2007г не использовалось на известковых предприятиях стран ЕС-27

На Рис. 2.36 (раздел 2.3.3.2) показано, что выбросы NO_x из вертикальных шахтных печей обычно ниже, чем из вращающихся печей вследствие температурной зависимости в результате того, для получения каждого вида извести необходимы различные печи. Как показано на Рис. 2.36, около 68 % выбросов NO_x из вращающихся печей не превышают 500 мг/нм^3 (по результатам точечных измерений с интервалом 30 мин) и около 60 % выбросов NO_x из шахтных печей ниже 100 мг/нм^3. Примерно около 80 % регенеративных печей с параллельным потоком материала, шахтных пересыпных и печей другой конструкции и около 50 % шахтных кольцевых печей достигают выбросов NO_x ниже 100 мг/нм^3 (см. раздел 2.3.3.2).

2.4.6.1.1 Оптимизация технологического процесса

Описание

Такую оптимизацию технологического процесса как выравнивание и оптимизация работы установки и/или усреднение питания топливом и сырьем можно использовать для снижения выбросов NO_x. Ниже перечислены специальные параметры контроля процесса оптимизации, способные положительно влиять на выбросы NO_x:

- скорость нагрева
- уровень температуры обжига
- избыток воздуха

- температура вторичного воздуха
- давление воздушного дутья
- дисперсность угля
- содержание в топливе летучих
- положение, длина и температура факела.

Эффект для окружающей среды

Снижение выбросов и расхода энергии

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Таких эффектов не наблюдается

Эксплуатационные показатели

Как показано на Рис. 2.36 по результатам точечных измерений с интервалом 30 мин. около 68 % выбросов NO_x из вращающихся печей меньше 500 мг/нм^3, а из шахтных – ниже 100 мг/нм^3. При этом около 80 % регенеративных печей с параллельным потоком материала, шахтных пересыпных и печей другой конструкции и около 50 % шахтных кольцевых печей достигают выбросов NO_x ниже 100 мг/нм^3 (см. раздел 2.3.3.2).

Пригодность и экономические показатели

Оптимизация технологического процесса и контроль за процессом могут быть внедрены в известковое производство, но необходимо отметить, что на практике кривые нагрева процесса обжига в известкой промышленности оптимизированы в лишь в соответствии с качеством продукции и энергопотребления. Кривые нагрева могут меняться ,если это позволяют технические характеристики конечного продукта, но при изменении кривых нагрева с учетом выбросов следует учитывать дополнительные затраты.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[54, 168]

2.4.6.1.2 Стадийная подача воздуха

Описание и эффект для окружающей среды

Стадийную подачу воздуха возможно применить на вращающихся печах. Зона восстановления создается снижением подачи кислорода в первые зоны реакции. Высокая температура в этой зоне частично благоприятствует реакции в ходе которой протекает регенерация NO_x дл элементарного азота. В последующих зонах горения увеличивается поступление воздуха и кислорода для окисления образующихся газов. Для предотвращения образования CO и NO_x или поддержания их концентрации на минимальном уровне необходимо обеспечить эффективное перемешивание газовоздушной смеси.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует дополнительная информация

Эксплуатационные показатели

В 2007 г. система стадийной подачи воздуха не была опробована на известковых предприятиях стран ЕС

Пригодность

В 2007 г. система стадийной подачи воздуха не была опробована на известковых предприятиях стран ЕС, однако испытания показывают, что в принципе она подходит для

вращающихся печей, в которых получается сильно обожженная известь. Стадийная подача воздуха в шахтные печи не возможна.

Экономические показатели

Доступная информация отсутствует

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры использования и литературные источники

В 2008г не было ни одного случая использования на известковых заводах стран ЕС-27

[54, 168, 182]

2.4.6.1.3 Горелки с пониженным образованием NO_x

Описание и эффект для окружающей среды

Выбросы оксидов азота зависят главным образом от свойств обжигаемой извести, конструкции печи и превышения температуры выше 1300 ^{0}C. Для минимизации выбросов NO_x следует использовать горелки с пониженным выбросом NO_x. В этих горелках обеспечивается снижение температуры факела и за счет этого снижается выход термического NO_x и отчасти за счет содержащихся в топливе соединений азота. Снижение выбросов NO_x достигается за счет воздушной промывки для снижения температуры факела или пульсирующего режима работы горелок

Поступающий через горелку в печь воздух для горения(т.н. первичный воздух) разделяется на два потока - «завихряющий» и «осевой». Поток осевого воздуха перемещается практически параллельно оси горелки, а поток завихряющего воздуха имеет осевую и тангенциальные составляющие. Как осевой, так и завихряющие потоки необходимы для формирования формы факела и обеспечения его стабильности.

Горелки с пониженным NO_x конструируют таким образом, чтобы снизить количество первичного воздуха это приводит к снижению выбросов NO_x, для обычных многоканальных горелок характерно работать с 10 - 18 % первичного воздуха от суммарного воздуха для горения. Более высокое содержание первичного воздуха вызывает сокращение длины и повышение интенсивности факела вследствие раннего перемешивания горячего вторичного воздуха и топлива. В результате вдоль высокотемпературного факела формируется большое количество NO_x, образование которых можно избежать использованием горелок с пониженным выходом NO_x.

При использовании различных видов горючих отходов очень важно хорошо согласовать конструкцию горелки с видом сжигаемого топлива, особенно это важно при изменении топлива и использовании жидких горючих отходов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Отсутствует информация

Эксплуатационные показатели

Использовали в кольцевых шахтных печах горелки, обеспечивающие подачу 30 - 150 кг/ч топлива, атомизированного воздухом с давлением 6 бар. Помимо увеличения скорости воздуха для горения оптимизируется форма пламени. В 2005-2006 гг. был зафиксированы не превышающие 200 мг/нм^3 выбросы NO_x (стандартное состояние, 10 % O_2). Содержание в топливе азота и воды может влиять на уровень образования NO_x и это обстоятельство следует учитывать при использовании в качестве топлива тяжелого мазута [46, 157].

Пригодность

Горелки с пониженным выходом NO_x можно использовать во вращающихся и приспособить к шахтным кольцевым печам, в которых поддерживаются специальные условия(высокая доля первичного воздуха). Простой перенос горелок с пониженным выходом NO_x из цементных в известеобжигательные печи невозможен вследствие того, что в цементных печах температура пламени выше и использование горелок с пониженным выходом NO_x было предложено для снижения начального высокого уровня термического NO_x . В большинстве известеобжигательных печей уровни NO_x ниже, и значение термического NO_x не столь актуально.

Конструкцию горелки необходимо согласовывать с видом топлива. Так как традиционные виды топлива и горючих отходов в регенеративных печах с параллельным потоком материала горят беспламенно, горелки с пониженным выходом NO_x в таких печах не используются.

Экономические показатели

Стоимость установки горелок с пониженным выходом NO_x находится в пределах стоимости обычных горелок

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры использования и литературные источники

Оборудованный кольцевыми шахтными печами известковый завод в Германии

[38, 46, 54, 157]

2.4.6.1.4 Селективное некаталитическое восстановление оксидов азота (SNCR)

Описание и эффект для окружающей среды

Оксиды азота (NO и NO_2) удаляются из дымовых газов и превращаются в азот и воду в процессе селективного некаталитического восстановления (SNCR) введенных в атмосферы печи реагентов, в качестве которых обычно используют аммиак и мочевину. Взаимодействие протекает при температурах от 850 до 1020 ^{0}C, наиболее типичным является интервал 900-920 ^{0}C.

Для протекания реакции необходимо обеспечить тщательное перемешивание реагента и дымовых газов, оптимальную температуру впрыскивания реагента и необходимое время пребывания реакционной смеси при оптимальных температурах. Вследствие того, что в ходе процесса производства извести не легко обеспечить перечисленные условия, чтобы обеспечить гарантированный эффект восстановления необходимо вводить избыток реагента.

Однако слишком высокое соотношение NH_3/NO_x может вызвать нежелательные выбросы аммиака, так называемый «проскок аммиака».Вследствие того, что дымовые газы известеобжигательных печей обычно не используют, например, для сушки материалов, невозможно обеспечить поглощение или адсорбцию потока аммиака. По этой причине проскок аммиака может гораздо легче происходить в известеобжигательных печах, чем при других процессах.

Ниже показаны основные реакции процесса SNCR и температурный интервал впрыскивания NH_3.

$$4NO + 4NH_3 + O_2 \xrightarrow{850\text{-}1080\ C} 4N_2 + 6H_2O$$

$$4NH_3 + 5\ O_2 \xrightarrow{980\ C} 4NO + 6H_2O$$

Температура является важным параметром. Помимо выше перечисленных основных реакций протекает множество других конкурирующих реакций. Первая реакция отражает

необходимый процесс восстановления оксидов азота в азот. Вторая реакция описывает нежелательный процесс окисления аммония. Обычно такая реакция имеет место при более высокой температуре и повышенном содержании кислорода в зоне впрыскивания. Вместо жидкого аммония можно впрыскивать жидкую мочевину. Мочевина имеет то преимущество ,что она не опасна и поэтому её намного проще вводить.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Высокое соотношение NH_3/NO_x может вызвать выбросы аммиака (проскок аммиака).

В зависимости от величины зоны впрыскивания известеобжигательной печи, необходимо использовать повышенное количество восстановителя для того, чтобы достичь заданного уровня снижения выбросов. Это опять создает риск проскока аммиака.

Эксплуатационные показатели

С июля 2006 г. в германской известковой промышленности проведены испытания селективного некаталитического восстановления (SNCR), для этого сначала был избран один завод, использующий ископаемое топливо и горючие отходы. В качестве восстановителя использовали раствор, содержащий 45 % мочевины, 24,5 % раствор гидроксида аммония и водные аммонийсодержащие отходы. Восстановитель вбрызгивали в колосниковый теплообменник Леполь. Выбор положения вбрызгивания (установки сопла) между входом в печь и теплообменником очень важно с точки зрения эффективности процесса и создания условий оптимальной аэрации отходящих газов. Температура взаимодействия реагента находилась в пределах 1080-1150 ^{0}C. На Рис. 2.50 показаны соотношения между температурой, проскоком аммиака и восстановлением NO_x.

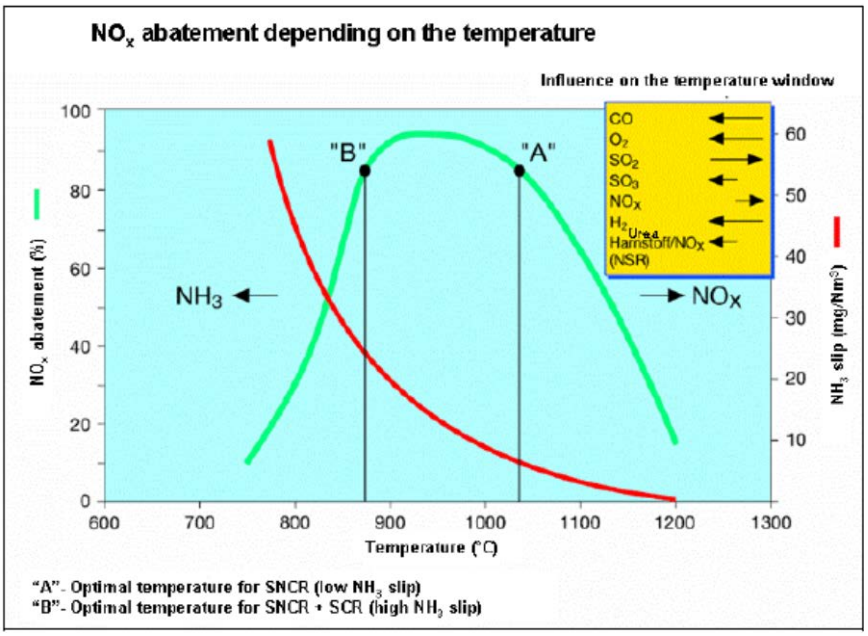

Рис. 2.50 Влияние температуры на снижение выбросов NO_x [152]

NO_x abatement depending on the temperature- Влияние температуры на снижение выбросов NO_x;influence on the temperature window- влияние температурного окна; NO_x abatement(%)- снижение выбросов NO_x; NH_3 slip(mg/Nm^3)- NH_3 проскок (мг/нм^3); "A"- Optimal temperature for SNCR(low NH_3 slip)- оптимальная температура для SNCR (низкий NH_3 проскок);"B"- Optimal temperature for SNCR and SCR (high NH_3 slip)- оптимальная температура для SNCR и SCR (высокий NH_3 проскок)

Такие теоретические и экспериментальные данные, как температурное окно и эффективность восстановления для процесса с использованием в известковой промышленности SNCR, приведены в Табл. 2.40.

Таблица 2.40 Теоретические экспериментальные данные процесса с SNCR [93, 152]

Процесс	Катализатор	Температурное окно для реакции разрушения NO_x, ^{0}C	Эффективность восстановления NO_x,%
SNCR	Некаталитическое превращение с впрыскиванием NH_3 или $(NH_2)_2CO_3$ (мочевины) непосредственно в камеру горения	850-1159	30-80

На германском заводе Flandersbach оказалось достичь степени восстановления 59-70 % и таким образом обеспечить уровень выбросов ниже 500 мг NO_x/нм^3 (среднее ежедневных

замеров, O_2 10%). Более высокий уровень удаления выбросов в принципе возможен, но при этом возможен массивный проскок аммиака. Измерения, выполненные при различных условиях прохождения процесса и впрыска показывают, что выбросы окиси азота (N_2O) остаются ниже 10 мг/нм^3.

Пригодность

В известковой промышленности SNCR процесс применим к вращающимся печам с запечным теплообменником (Леполь)

В случае вертикальных шахтных печей, составляющих в 2007 г. до 90 % общего количества печей в ЕС-27, технически невозможно обработать дымовые газы с помощью SNCR, так как температура дымовых газов таких печей не превышает 200 ^{0}С.

В длинных вращающихся печах практически невозможно использовать SNCR,так как зона оптимального температурного окна располагается во вращающейся части печи. В 2007 г. доступ в эту часть печи оказался невозможным и ограничились только измерением выбросов.

Во вращающихся печах, оборудованных запечными теплообменниками, теоретически условия процесса позволяют использовать технологию SNCR, но только в особых участках, где температуры находятся в идеальном интервале950 -1050 ^{0}С (такие условия имеются только в печах с теплообменником Леполь). Таким образом, относительно ограничены возможности подобрать оптимальную (с точки зрения температурного режима и концентрации кислорода) зону. Кроме того, требуется минимальное время пребывания дымовых газов в этом температурном окне для того, чтобы:

- испарить реагент(мочевину или аммиачный раствор)
- равномерно распределить его по всей секции
- обеспечить взаимодействие восстановителя с оксидами азота.

На практике оба этих условия не обязательно создаются во вращающихся печах с запечным теплообменником. В самом деле в случае использования вертикальных запечных теплообменников время пребывания дымовых газов в идеальном температурном окне вероятно слишком коротко для того, чтобы обеспечить полноту взаимодействия с оксидами азота во всей секции. В случае печей, оборудованных колосниковым теплообменником, такие условия более выполнимы. Однако практические результаты свидетельствуют о том, что эффективность SNCR может оказаться значительно ниже ожидаемой, как показано в следующих германских примерах, где опыты по разрушению NO_x проводили в печи с теплообменником, аналогичной упомянутой выше (см. результаты опытов). Для того, чтобы ограничить сильные выбросы в дымовые газы аммиака и его солей, при впрыскивании мочевины в колосниковый теплообменник Леполь ограничивают молярное соотношение NH_3/NO_x величиной 1:2. В действительности опыты останавливали сразу же после появления в трубе белого шлейфа загрязняющих веществ. При непрерывном мониторинге выбросов NO_x при впрыскивании мочевины отмечается постепенное снижение интенсивности выбросов NO_x до 400 и даже 300мг/нм^3. Выбросы аммиака из печи в пределах 3-8мг/нм^3 возникают и без впрыскивания мочевины; против обычно фиксируемых выбросов вращающихся печей меньше 0,7 мг/нм^3. Однако для того, чтобы использовать SNCR на печах с запечным теплообменником Леполь, необходимы исчерпывающие исследования и дополнительные приспособления.

Экономика

На германском заводе Flandersbach стоимость инвестиций оказалась сходной с наблюдаемой в цементной промышленности: между 0,5 и 1,2 млн евро (см. раздел 1.4.8.2) . На этом предприятии испытания проводили в течение короткого периода – только несколько недель, и поэтому трудно точно оценить расходы на данный момент. При финансовой прикидке исходили из предварительных предположений, что расходы как и в случае цементного производства (исходя из суточной производительности печи 1000т и первоначальные выбросы NO_x достигают 1500 мг/нм^3) составляют 0,1-1,7 евро/т извести.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры заводов и литературные источники

Германский завод Flandersbach

[46, 54, 57, 93, 152, 168]

2.4.6.1.5 Селективное каталитическое восстановление оксидов азота (SCR)

Описание и эффект для окружающей среды

Селективное каталитическое восстановление (SCR) осуществляется при температурах 300-400 ^{0}C, NO и NO_2 с помощью NH_3 и катализатора восстанавливают до N_2.

Вне зависимости от вида восстановителя процессу SCR требуется хорошее смешивание дымовых газов с реагентом, оптимальная температура впрыскивания и достаточное время пребывания такой смеси в окне оптимальных температур. Использование восстановителя обеспечивает соответствующую эффективность восстановления. SCR можно использовать с высокой эффективностью восстановления при при близких к стехиометрическим соотношениях. Дымовые газы известеобжигательных печей не используют, например, для сушки материалов. Невозможно уловить и поглотить выбросы аммиака (см. раздел 1.4.5.1.8).

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Использование катализатора увеличивает эксплуатационные расходы, катализатор необходимо или регенерировать или захоронить. В случае высоких концентраций пыли может потребоваться электроэнергия для системы первоначального обеспыливания реактора SCR и ввиду роста сопротивления воздушному потоку. Система с отходящим газом, характеризующимся пониженным содержанием пыли, требует подогрева отходящих газов после обеспыливания, это может потребовать дополнительных затрат электроэнергии и связано с ростом сопротивлением газовому потоку.

Эксплуатационные показатели

Такие теоретические экспериментальные данные как температурный интервал и эффективность восстановления NO_x для условий известковой промышленности приведены в Табл. 2.41.

Таблица 2.41 Теоретический температурный интервал и степень восстановления с использованием SCR [93]

Процесс	Катализатор	Температурный интервал реакции разрушения NO_x, ^{0}C	Эффективность восстановления NO_x (%)
SCR	Оксид металла на керамическом носителе	280-350	70 - > 90
	Молекулярное сито	380-480	70 - 90

Пригодность

Селективное каталитическое восстановление может в принципе использоваться для вращающихся печей для снижения выбросов NO_x. Однако в 2007 г. в европейской известковой промышленности не было ни одного случая использования такого технического решения для снижения выбросов NO_x с помощью SCR.

Применительно к использованию SCR в известковой промышленности следует уточнить ряд параметров:

- высокую пылевую нагрузку
- высокий удельный выход газа
- проблему щелочных металлов

- стоимость инвестиций, эксплуатации и обслуживания.

Экономика

Стоимостные показатели использования SCR в цементной промышленности приведены в разделах 1.4.5.1.8 и 1.4.8.2.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры использования и литературные источники

В 2008 г. в странах ЕС-27 нет предприятия, на котором внедрено это техническое решение

[54, 168]

2.4.6.2 Снижение выбросов SO_2

Описание и эффект для окружающей среды

Выбросы SO_2 имеют место главным образом во вращающихся печах, они связаны с наличием в топливе серы, конструкцией печей и допустимым содержанием серы в получаемой извести. Таким образом, выбор топлива с пониженным содержанием серы может ограничить выбросы SO_2 и таким образом можно производить известь, используя топливо с повышенным содержанием серы.

Для снижения выбросов SO_2 применяют абсорбенты, используемые в каскадных абсорберах со слоем насадки и в системах модульных абсорберов, и сухую очистку дымовых газов с помощью фильтров - электростатических осадителей или тканевых фильтров. Применение абсорбентов для снижения выбросов SO_2 хорошо освоено в других отраслях промышленности, но до настоящего времени не освоено во вращающихся известеобжигательных печах. Для применения во вращающихся печах можно рассматривать следующие технические решения:

- использование мелкого известняка: при эксплуатации питающейся доломитом вращающейся печи одного диаметра отмечено существенное снижение выбросов SO_2 при использовании питания, котором или повышенное содержание известняковой мелочи или склонного к разрушению при нагревании. Полученная при обжиге тонкодисперсного известняка известь взаимодействует с дымовыми газами и по пути удаляется в устройство для сбора пыли;
- вдувание извести в воздух для горения: в запатентованном техническом решении (EP 0 734 755 A1) описывается снижение выбросов SO_2 из вращающейся печи путем подачи негашеной или гашеной извести в воздух со стороны горячего конца печи;
- вдувание абсорбента в отходящие газы.

Таким образом для снижения концентрации SO_2 в газовых выбросах применяют:

- вдувание в поток газов абсорбента-гидратной извести или бикарбоната натрия
- для эффективного поглощения SO_2 обеспечивают достаточное время пребывания газа между точкой подачи поглотителя и устройством для сбора пыли (предпочтительно тканевого фильтра).

В 2007 г. не отмечено ни одного случая установки такого оборудования на каком-нибудь европейском предприятии. Однако зафиксировано несколько случаев вдувания гашеной извести для снижения выбросов SO_2 [54].

В этой связи полезную информацию о поглотительных устройствах можно найти в документе [58].

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Отсутствуют данные

Эксплуатационные показатели

Испытания показывают, что за исключением длинных вращающихся печей, которых в странах ЕС-27 несколько меньше 26, большинство известеобжигательных (регенеративные с параллельным потоком материала, шахтные кольцевые, шахтные пересыпные, печи другой конструкции и вращающиеся с запечным теплообменником) печей благодаря природной способности извести захватывать серу имеют выбросы SO_2, не превышающие 50 мг/нм^3 (см. раздел 2.3.3.3). Кроме того, в результате использования отходов в качестве топлива большинство известеобжигательных печей достигли выбросов SO_2 меньше 50мг/нм^3.

Пригодность

Технологию ввода абсорбента для снижения выбросов можно в принципе применить в известковой промышленности, но в 2007 г. она не использовалась.

Экономика

Отсутствуют данные

Движущая сила внедрения

Требования законодательства

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[34, 168, 182]

2.4.6.3 Снижение выбросов CO

Описание

Подбор при возможности сырьевых материалов с пониженным содержанием органических материалов может также снизить выбросы CO. Однако выбор сырьевого материала зависит от типа печи и/или от вида производимой (например гидратной) извести.

Регулирование выбросов CO

При повышении уровня CO в дымовых газах следует в целях безопасности отключить электростатические осадители.

Менеджмент регулирования выбросов CO, который был разработан для цементных печей, соединенных с электростатическими осадителями, применим и к оснащенным электростатическими осадителями вращающимся известеобжигательным печам. Однако в случае известеобжигательных печей намного ниже, чем у цементных интенсивность выброса пыли (кг/т продукции) вследствие дезактивации электростатических осадителей из-за использования более крупного известняка и отсутствия системы повторного использования пыли.

Информацию относительно контроля регулирования выбросов CO можно найти в разделах 1.4.5.3 и 4.2.6.

Эффект для защиты окружающей среды

Снижение выбросов CO и пыли

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Наличие выбросов CO может вызвать взрывы в электростатических осадителях.

Эксплуатационные показатели

В Табл. 2.39 раздела 2.3.3.4.2 показано, что по результатам точечных замеров выбросы CO из регенеративных печей с параллельным потоком материала, длинных вращающихся печей и оборудованных запечными теплообменниками и печами другой конструкции

лежат в пределах < 100 -< 500 мг/нм^3; выбросы CO из кольцевых и шахтных пересыпных печей по техническим причинам выше. В специальных случаях производства гашеной извести содержание органического углерода в сырье ограничивают 0,8 - 5 %.

Пригодность

Менеджмент регулирования выбросов CO в принципе применим к вращающимся печам.

Экономика

Отсутствуют данные.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства.

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[54, 83, 168, 182]

2.4.6.4 Снижение выбросов общих органических соединений (TOC)

Выбросы летучих органических соединений обычно измеряют как суммарный органический углерод (TOC) и часто связывают её с выбросами CO, образующимися при неполном сгорании топлива. Ввиду того, что оператор стремится ограничить выбросы из печи CO, выбросы летучих органических соединений удерживается на относительно низком уровне. Для снижения уровня выбросов TOC рекомендуется использовать такую оптимизацию технологического процесса как обеспечение его плавности, гомогенизацию подачи топлива и сырьевых материалов.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Отсутствуют публикации

Эксплуатационные показатели

В очень ограниченных случаях содержания в природном известняке до 0,1 % органического вещества летучие органические вещества выделяются непрерывно.

В случае шахтных кольцевых, длинных вращающихся и оборудованных запечными теплообменниками вращающихся печей летучие органические вещества в количестве до 10 мг/нм^3 (в пересчете на C) выделяются в течение короткого периода розжига и при нарушении технологического режима. В случае регенеративных печей с параллельным потоком материала изменения процесса горения происходит через каждые 10-12 мин. и поэтому уровень выбросов летучих органических соединений несколько выше, чем у печей других типов.

Ввиду того, что сырьевые материалы, используемые для производства гашеной извести, характеризуются высоким содержанием органического вещества (0.8-5 % в пересчете на TOC), то при этом производстве наблюдаются более высокие выбросы TOC, чем при производстве обычной извести.

Пригодность

Все подобные технические решения в принципе можно использовать на известеобжигательных печах.

Экономика

Отсутствуют доступные данные.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства .

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[129, 182]

2.4.6.5 Снижение выбросов хлористого (HCl) и фтористого (HF) водорода

Описание и эффект для окружающей среды

Выбросы хлора и фтора можно снизить использованием топлива, содержащего их пониженное количество. Основную массу хлора из сырья и топлива захватывает негашеная известь.

Вертикальные печи, в которых достигается эффективный контакт между печными газами и известью, обеспечивают эффективное поглощение HCl. Однако выбросы HCl из шахтных печей в большой степени зависит от содержания в известняке хлора. При обжиге сухого известняка выбросы HCl выше. В некоторых случаях снижения выбросов HCl можно достичь инжектированием в дымовые газы воды.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Публикации отсутствуют.

Эксплуатационные показатели

Содержание хлора в доломите выше, чем в известняке: 100 -1000 против 10-150 частей на миллион.

При использовании в качестве топлива отходов выбросы HCl составляют 10 мг/нм^3 и выбросы HF 1 мг/нм^3 (см. Табл. 2.27 раздела 2.3.3.7).

Пригодность

Такие технические решения в принципе можно использовать на известковой промышленности.

Экономика

Отсутствуют доступные данные.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства.

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[46, 182]

2.4.7 Снижение выбросов полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (ПХДД и ПХДФ)

Описание и эффект для окружающей среды

Содержащийся в сырьевых материалах и топливе хлор может быть потенциальной причиной образования ПХДД и ПХДФ в любой зоне печи, где температура находится в пределах 300-450 ^{0}C.

При использовании в качестве топлива отходов, содержащих хлор, выбросы ПХДД и ПХДФ могут увеличиться.

Из литературы по производству извести следует придерживаться следующих правил, относящихся к выбросам ПХДД и ПХДФ:

- ограничивать время пребывания дымовых газов в зонах печи с температурами 300-450 ^{0}C
- ограничивать содержание кислорода в этих зонах
- ограничивать поступление с топливом меди, которая является катализатором при синтезе ПХДД и ПХДФ.

Исходя из этих правил, работу печного агрегата можно рассматривать в соответствии со схемой производственного процесса, приведенной на Рис. 2.51 и 2.52.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

При использовании в качестве топлива отходов может повлиять на содержание в топливе хлора и вызвать увеличение выбросов.

Эксплуатационные показатели

Сообщается (раздел 2.3.3.6), что различные известеобжигательные печи характеризуются выбросами ПХДД/ПХДФ в диапазоне 0,005-0,07 нг I-TEQ/нм^3. В течение всего периода наблюдений средняя величина выбросов ПХДД/ПХДФ из всех типов известеобжигательных печей не превышает 0,1 нг I-TEQ/нм^3. Такой уровень выбросов наблюдается при использовании в качестве топлива отходов. При использовании отходов в качестве части топлива необходимо ориентироваться на положения Директивы по сжиганию отходов [59].

Однако проводятся исследования по разработке мероприятий, направленных на снижение нежелательных выбросов ПХДД/ПХДФ: даже при использовании топлива с повышенным содержанием хлора выбросы остаются ниже 0,1 нг I-TEQ/нм^3.

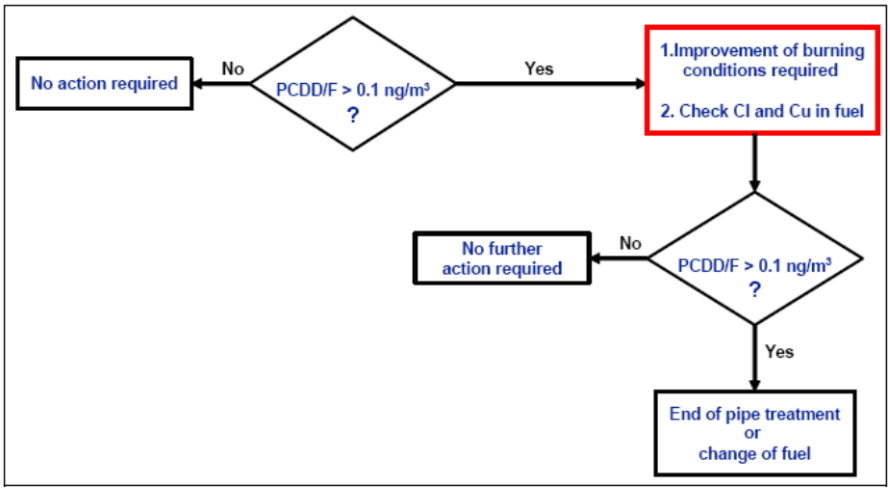

Рис. 2.51 Схема процесса формирования выбросов ПХДД/ПХДФ в вертикальных известеобжигательных печах [54]

No action required – не требуется проведения мероприятий; No- нет;Yes- да; Improvement of burning conditions required- требуется улучшение условий обжига; Check Cl and Cu in fuel-определение содержания в топливе Cl и Cu ; No further action required-не требуется проведении дополнительных мероприятий ;End of pipe treatment or change of fuel- обработка выбросов на конце трубы или изменение топлива

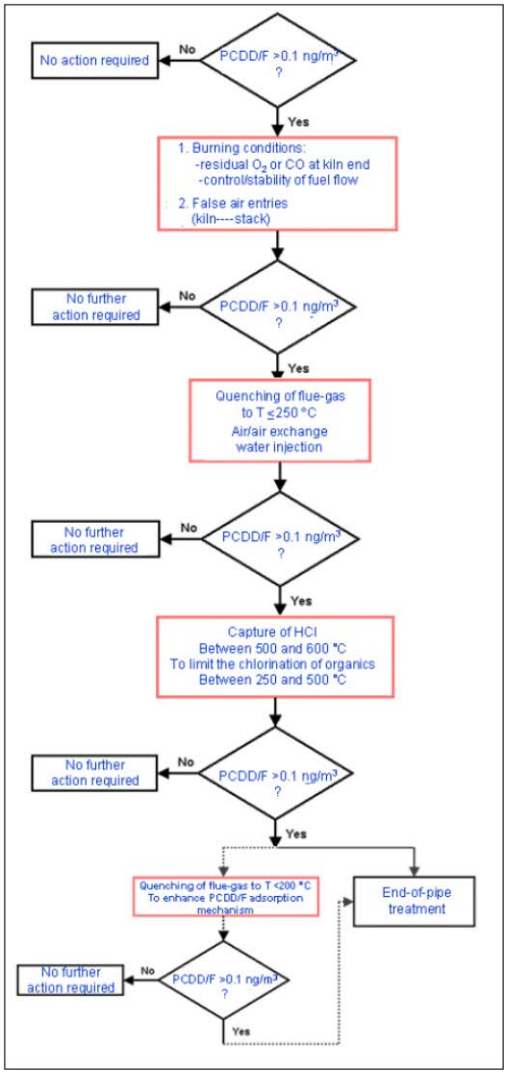

Рис. 2.52 Схема процесса формирования выбросов ПХДД/ПХДФ в длинных вращающихся печах и в печах с запечным теплообменником [54]

No action required – не требуется проведения мероприятий; No further action required-не требуется проведении дополнительных мероприятий ; burning conditions- условия обжига; residual O_2 or CO_2 at kiln end-остаточные O_2 и CO_2 в конце печи ;control/stability of fuel flow-контроль/стабильность потока топлива ; False air entries-поступление дополнительного воздуха; quenching of fuel-gas- охлаждение смеси топливаи газа; air/air exchange – обинг воздух/воздух;water injection-впрыскивание воды ; Capture of HCl- поглощение HCl ;between- между ; to limit the chlorination of organics- к пределу хлорирования органики ; to enhance PCDD/F adsorption mechanism-улучшать механизм поглощения PCDD/F ; end-of-pipe treatment-обработка на конце трубы

Пригодность

Эти мероприятия можно в принципе применить на известеобжигательных печах.

Отходы, которые используются в качестве топлива, необходимо перед употреблением подвергать анализу.

Экономика

Отсутствуют данные.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства.

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[54, 182]

2.4.8 Снижение выбросов металлов

Описание и эффект для окружающей среды

Следует исключить подачу в печную систему топлива, содержащего повышенное количество металлов. Более того, материалы с повышенным содержанием летучих металлов типа Hg и Tl необходимо подвергать особому контролю.

Тщательный подбор и обеспечение соответствия гарантийным характеристикам поступающих в печь веществ может способствовать снижению выбросов: например, при использовании системы гарантии качества подаваемого в печь используемого как топливо отхода (см. раздел 2.4.4). При этом особое внимание следует уделять ртути. Ввиду летучести ртути могут возникнуть относительно более высокие уровни её выбросов. Поэтому ввод ртути с горючими отходами необходимо контролировать и, если необходимо, ограничивать (см. раздел 2.3.3.10).

Эффективное удаление пыли снижает выбросы металлов, так как выделяющиеся металлы (за исключением ртути) в большой мере связаны с пылью. Следует обратить внимание на поглощение с активированным углем.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Установка устройств, обеспечивающей сбор пыли, сопряжено с повышением расхода электроэнергии вследствие повышения сопротивления газовому потоку.

Эксплуатационные показатели

Как показано в Табл. 2.28 (см. раздел 2.3.3.9), выбросы металлов находятся в пределах 0,01-0,1 мг/нм^3. В случае свинца и цинка в особых случаях при повышенных выбросах пыли выбросы достигают 0,4 мг/нм^3.

При использовании отходов результаты средних дневных измерений выбросов ртути составляют менее 0,03 мг/нм^3 или в среднем 0,05 мг/нм^3 при измерениях с получасовым интервалом. В случае совместных выбросов кадмия и таллия наблюдаются выбросы, не превышающие в среднем 0,05 мг/нм^3 при измерениях с получасовым интервалом. Суммарные выбросы мышьяка, кобальта, хрома, меди, марганца, свинца, сурьмы, олова и ванадия не превышают 0,5 мг/нм^3 (измерения выполняли с получасовым интервалом , содержание O_2 10 %, см. раздел 2.3.3.10.1.)

Пригодность

Такое техническое решение может быть применено в известковой промышленности.

Экономика

Эффективное удаление пыли может быть связано с повышением расходов из-за использования фильтров с активированным углем, Также с дополнительными затратами связано использование системы контроля качества подаваемых в печь материалов.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства.

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы стран ЕС-27

[46, 51, 54, 168, 182]

2.4.9 Производственные потери/отходы

2.4.9.1 Общие соображения относительно повторного использования твердых производственных отходов в качестве сырья

В настоящем разделе рассматривается возможность снижения образования твердых отходов на различных стадиях процесса производства извести.

В качестве обычного сырьевого материала можно использовать пыль, улавливаемую при операциях погрузки/выгрузки, перемещения и обработки сырьевых материалов. Например, при хранении сырьевых материалов любая отфильтрованная пыль может возвращаться непосредственно в производственный процесс или в силос, на котором установлен фильтр.

В специальном силосе хранят пыль, собранную с помощью тканевых фильтров на помольных установках, ситах и грохотах, мельницах, гидраторах и при погрузке негашеной извести. Её можно использовать в качестве добавки в продукцию или (в случае, когда цементное и известковое производства совмещены) передать в цементное производство [66].

Пыль из системы очистки дымовых газов можно использовать в качестве сырьевого материала только в особых случаях: эта пыль может содержать такие загрязняющие вещества, как высокие концентрации серы, фтора и металлов, эти явления особенно заметны при использовании в качестве части топлива отходов. В большинстве же случаев собранная пыль представлена карбонатом кальция, содержащим различные количества оксида кальция, топлива и золы. Область применения собранной пыли может меняться от ввода в товарную продукцию (строительную известь, известь для стабилизации грунта, гашеная известь и гранулированный материал) до отправки в отвалы.

Собранную при очистке дымовых газов во влажном скруббере суспензию осаждают, жидкость в основном регенерируют, а влажную твердую фазу направляют в отвалы. Ввиду особых условий очистки газовых потоков, возможности утилизации отходов не велики. Образующийся при очистке дымовых газов гипс нельзя вновь использовать при производстве извести, но можно использовать в качестве регулятора твердения в производстве цемента.

Материалы, которые нельзя повторно использовать в собственном производстве, направляется в другие отрасли, подвергается переработке или захоронению.

2.4.10 Шум

Описание и эффект для окружающей среды

В этом разделе рассматриваются возможности снижения шума, возникающего на некоторых стадиях производства извести. Устранение шума особенно важно, так как известковые предприятия располагаются поблизости от жилых местностей. Часто снижение зашумленности достигается принятием мер непосредственно к источнику шума. Источником шума, например, является добыча и переработка известняка, а при производстве извести неизбежным шумом сопровождаются работа дробилок, мельниц и подготовительных устройств собственно печей, питателей, ленточных конвейеров, холодильников и т.д.

На известковых предприятиях предпринимаются различные меры, направленные на снижения для окрестностей уровня шума. Наиболее эффективное решение можно достичь лишь для конкретного предприятия или производственного передела.

В известковом производстве для этих целей применяют следующие технические решения:

- подходящий выбор места для шумных операций
- исключение таких шумных операций как загрузка печей, выгрузка извести, отгрузка продукции
- устройство противошумных барьеров и строительство стен, т.е. защита погрузочных устройств
- использование внутренних и наружных покрытий из стойких материалов для желобов
- использование звукоизолирующих строений для проведения операций, связанных с оборудованием для изменения материала
- звукоизоляция машинного оборудования
- звукоизоляция отверстий в стенах для ввода ленточных конвейеров
- установка звукопоглотителей на выпуске воздуха, например обеспыленного воздуха
- снижение скорости газового потока в трубах
- звукоизоляция труб

- установка глушителей на дымовых трубах
- изоляция дымовых труб и дымососов в соответствующих звукоизолирующих постройках
- разделение источников шума и возможных резонирующих элементов, т.е компрессоров и труб.

Существующие или более старые предприятия предпринимают усилия, направленные на обеспечение соответствия требованиям национального законодательства и более старые проекты могут создать такие трудности, как отсутствие места для устройства покрытий, доступа при эксплуатации оборудования.

В том случае, выше перечисленные мероприятия, направленные на защиту от шума, нельзя выполнить и перенос шумного оборудования в здания невозможен, например, из-за размера печей и оборудования, предпринимают дополнительные меры по предотвращению шума: изменяют конструкцию зданий, создают посадки деревьев и кустарников между защищаемой территорией и источником шума, например, печью и хранилищем. Во время операций, связанных с шумом , двери и окна закрытых помещений следует держать закрытыми.

Системы снижения шума

На деле для снижения выделения шума известковыми предприятиями разработана система снижения шума для всего участка, учитывающая все расположенные на производственной площадке источники шума, стоимость мероприятий по снижению шума, требования законодательства ,а также интересы соседей.

Так как с увеличением расстояния от источника уровень шума существенно снижается, наиболее эффективная система снижения шума не обязательно включает мероприятия по снижению шума самого шумного оборудования. Таким образом комбинация мероприятий, направленных на закрытие источника шума, для находящихся под его воздействием площадей более эффективна. В некоторых случаях осуществление таких организационных мероприятий как снижение активности в ночное время вполне достаточно для уменьшения неприятностей для соседей и обеспечения соответствия требованиям законодательства.

Разработка системы снижения шума обычно включает следующие мероприятия:

- создание списка основных источников шума и определение интенсивности создаваемого ими шума
- определение пространства, на которое воздействует шум,т.е.жилые постройки
- выполнение компьютерных расчетов распространения шума(основанного на трехмерном моделировании промплощадки и соседней территории)
- классификация источников шума по их воздействию на конкретные площади (отдельно в дневное и ночное время)
- оценка мероприятий по снижению шума с точки зрения их влияния на уровень шума на данных площадях и возможных затрат
- выявление наиболее эффективного с точки зрения затрат сочетания мероприятий, обеспечивающих выполнение требований законодательства и приемлемы для соседей [46].

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

В связи с проведением мероприятий по защите от шума может возникнуть потребность в дополнительных инвестициях и эксплуатационных расходах.

Эксплуатационные показатели

Нет доступных данных.

Пригодность

Мероприятия по снижению шума могут в принципе быть использованы в производстве извести.

Экономика

Для проведения мероприятий по защите от шума могут потребоваться дополнительные инвестиции.

Движущая сила внедрения

Требования законодательства.

Примеры использования и литературные источники

Известковые заводы Германии и стран ЕС-27

[46]

2.4.11 Общие соображения о запахах

На известковых заводах, где установлены шахтные пересыпные печи, наблюдаются неприятные запахи вследствие того, что происходит выброс сероводорода. Это связано с частичным восстановлением и наличием форм элементарной серы, которые могут вызвать выброс H_2S. Может быть полезно использование для снижения выброса H_2S в дымовых газах регенеративной форсажной камеры. В 2008 г. в Европе был только один известковый завод, на котором для снижения выбросов H_2S была установлена термическая форсажная камера; при этом она работала только 6 месяцев.

Снижением содержания в топливе серы возможно уменьшить выделение запахов.

Неприятные запахи могут быть вызваны и используемыми в качестве топлива отходами. Хранилища отходов необходимо прикрывать или использовать системы для хранения отходов.

2.4.12 Инструменты экологического менеджмента

Инструменты экологического менеджмента описаны в главе, посвященной производству цемента в данном документе (см. раздел 1.4.12).

2.5 Наилучшие доступные технологии для известковой промышленности

При понимании этого раздела и его составляющих внимание читателя направлено назад к предисловию настоящего документа и в частности к пятой части предисловия «Как понять и использовать этот документ». Технические решения и связанные с ними выбросы и/или уровни потребления, или диапазоны уровней, приведенные в этом разделе, необходимо оценить как интерактивный процесс, предусматривающий следующие мероприятия:

- идентификация ключевых для защиты окружающей среды выводов данного раздела: для производства извести расходуется энергия и в качестве топлива используют отходы и в воздух происходят выбросы
- изучение технических решений наиболее отвечающих этим ключевым выводам
- идентификация наилучших уровней показателей воздействия на окружающую среду на основе доступных данных ЕС и мировой практики
- изучение условий, при которых достигаются эти уровни показателей воздействия на окружающую среду: соотношение цен, взаимодействие мероприятий по охране окружающей среды и основных движущих сил, вовлеченных в осуществление этих мероприятий

- выбор наилучшей доступной технологии и связанных с ней выбросов и уровней потребления в этом секторе находятся в соответствии с духом статьи 2(12) и приложения IV к Директиве.

Экспертная оценка Европейского бюро КПКЗ и соответствующей технической рабочей группы играют ключевую роль во всех перечисленных выше мероприятиях и в том пути, по которому информация попала сюда.

На базе такой оценки наилучшей доступной технологии и, насколько возможно, выбросы и уровень энергопотребления при её использовании представлено в настоящем разделе как в целом, так и во многих случаях, отражающих эксплуатацию некоторых устройств. Когда приведены выбросы или уровни потребления, связанные с использованием наилучшей доступной технологии, необходимо понять, что эти уровни представляют воздействие на окружающую среду, которое предполагает результат применения описанных в этом разделе мероприятий с учетом их стоимости и преимуществ, связанных с понятием -наилучшая доступная технология. Однако ни величина выбросов, ни уровни потребления не возможно рассматривать как таковые. В ряде случаев они представляют, технически достижимый уровень меньших выбросов или потребления, но при этом затраты и учет взаимодействия мероприятий по охране окружающей среды не позволяют рассматривать рассматриваемые технические решения в целом как наилучшее доступное техническое решение. Однако эти уровни можно рассматривать при оценке в более специфических случаях, когда действуют специфические движущие силы.

Уровни выбросов и потребления, связанные с использованием наилучшей доступной технологией, следует рассматривать в связи с специфическими исходными условиями (усредненный период).

Следует отличать описанную выше концепцию «уровней, связанных с использованием наилучшей доступной технологии» от широко используемого в настоящем документе понятия «достижимый уровень». В том случае, когда какой-то уровень рассматривают как «достижимый» с помощью конкретного технического решения или комбинации технических решений, следует осознавать, что этот уровень может быть устойчиво достигнут в течение определенного периода времени при использовании хорошо обслуживаемого и работающего оборудования или процесса, использующего техническое решение.

Доступные данные, касающиеся цен, вместе с описанием технического решения приведены в предыдущем разделе 2.4. Там приведена примерная индексация амплитуды колебания цен. Однако реальные цены осуществляемого технического решения сильно зависят от конкретной ситуации, связанной, например, со ставками налогов, уровнем оплаты труда, субсидиями и техническими характеристиками оборудования. В настоящем документе невозможно полностью проанализировать все эти факторы. В отсутствии данных, касающихся цен, заключение об экономической жизнеспособности технического решения делается по результатам наблюдений за существующим оборудованием. Приводимая в данном разделе наилучшая доступная технология (включая связанные с ней уровни выбросы и потребления) является «Наилучшей доступной технологией по общему ощущению» (т.е. рассматривается как предназначенное для использования в разделе в целом). Имеется ввиду, что они представляют базисный уровень, по сравнению с которым оцениваются эксплуатационные характеристики существующего оборудования или проводится оценка предлагаемого нового оборудования. Таким образом, они способствуют выявлению условий, рассматриваемых как основанных на использовании наилучшей доступной технологии или при формулировании правил статьи 9(8) Директивы IPPC. Можно предположить, что может быть сконструировано новое оборудование, обладающее лучшими характеристиками, чем у представленного в этом разделе наилучшего доступного оборудования. Предполагается, что существующее оборудование может стремиться к уровню представленного в данном разделе наилучшего доступного технического решения или превысить его по техническим и экономическим показателям.

Ввиду того, что базисные документы наилучшей доступной технологии юридически не являются обязательными стандартами, они предназначены для того, чтобы представлять информацию руководству промышленности, а также общественности о достижимом

уровне выбросов и потребления при использовании специальных технических решений. В каждом особом случае следует определить подходящие допустимые условия, принимая во внимание цели Директивы КПКЗ и местные условия.

Наилучшая доступная технология для специальных целей может использоваться в одиночку, либо в сочетании с перечисленной в этом разделе другой наилучшей доступной технологией.

В том случае, когда технология, в отдельности рассматриваемая как наилучшая доступная, может быть использована в сочетании, эффект такого сочетания следует обсудить при выводе заключения о допустимых условиях для базовой наилучшей доступной технологии.

Рекомендации в помощь пользователям/читателям настоящего документа

Ввиду того, что необходимо принять во внимание упомянутые в разделе 2.4 соображения, касающиеся применимости технических решений, настоятельно рекомендуется читать этот раздел 2.5 вместе с разделом 2.4. Для помощи читателю ссылки на раздел 2.4 включены в раздел 2.5.

Приведенные в настоящем разделе уровни выбросов представляют собой среднесуточные, отнесенные к базисному уровню и стандартным условиям, исключение составляют гидраторы, выбросы которых определяются условиями излучения. Следующие определения, относящиеся к стандартным условиям, связанные с объемом и концентрацией печных отходящих газов также приведены и в Словаре:

$м^3$/ч	объём потока; если в этом разделе не отмечено противное, объём потока относят к содержанию 11 % кислорода и стандартным условиям
мг/$нм^3$	Концентрация; если в этом разделе не отмечено противное, концентрацию газообразных веществ или смеси веществ относят к сухим дымовым газам при содержании 11 % кислорода и стандартных условиях
Стандартное состояние	Характеризуются сухим газом с температурой 273 К и давлением 1013 Па

Как описано в Предисловии, этот документ не предлагает величин пределов выбросов. Наилучшая доступная технология и представленные связанные с ней диапазоны выбросов и потребления относятся к оборудованию печей различных размеров, работающих в различных режимах, например, непрерывно или периодически в течение различного времени. В рассматриваемом документе невозможно полностью учесть особые местные условия. Установление подходящих разрешенных условий потребует принять во внимание такие специфические факторы, технические характеристики оборудования, географическое положение и местные экологические условия. Даже единственная цель обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды в целом требует сопоставления оценок различных воздействий на окружающую среду и на эти оценки влияют местные обстоятельства.

Хотя и сделана попытка адресного рассмотрения некоторых из этих вопросов, их невозможно полностью рассмотреть в настоящем документе. Технические решения и представленные в разделе 2.5 уровни не обязательно окажутся присущими любому оборудованию. С другой стороны обязательство обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды подразумевает минимизацию отдаленных или пограничных загрязнений с учетом того, что допустимые условия определены лишь исходя из местных обстоятельств. И кроме того, предельно важно, чтобы была полностью принята во внимание содержащаяся в этом документе информация.

2.5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ)

Ряд инструментов, присущих системам экологического менеджмента, является НДТ. Степень охвата (т.е. уровень детализации) и вид СЭМ (стандартизованная или нестандартизованная) должны соответствовать природе, масштабу и сложности установки и уровню её воздействия на окружающую среду.

29. НДТ – это реализация и выполнение определенных требований СЭМ, которые включает, в соответствии с теми или иными местными особенностями, следующие основные положения (см. раздел 1.4.12):

(a) ответственность высшего руководства (ответственность высшего руководства рассматривается как обязательное условие выполнения других требований СЭМ)

(b) принятие высшим руководством экологической политики, которая включает требование постоянного улучшения (экологической результативности) установки;

(c) планирование и внедрение необходимых процедур, целей и задач с учетом финансовых планов и инвестиций

(d) внедрение процедур, с особым вниманиям к таким позициям, как:

- структура и распределение ответственности;
- обучение, осведомленность и компетентность (персонала);
- коммуникации;
- вовлечение в процесс развития СЭМ всех сотрудников;
- документирование;
- эффективный процессный контроль;
- программа технического обслуживания;
- готовности к нештатным ситуациям и авариям;
- гарантии обязательного соблюдения требований природоохранного законодательства.

(e) проверка и корректирующие действия, с особым вниманиям к таким позициям, как:

- мониторинг и измерения (см. также Справочный документ по общим принципам мониторинга (производственного мониторинга и контроля) [151]);
- корректирующие и предупреждающие действия;
- ведение записей;
- независимый (где осуществимо) внутренний аудит, чтобы определить, соответствует ли СЭМ заложенным изначально принципам, должным ли образом она внедрена и функционирует .

(f) регулярный анализ и пересмотр СЭМ высшим руководством на предмет её пригодности, адекватности и эффективности (действенности).

Ниже перечисляются три параметра, без которых СЭМ не могла бы быть НДТ:

- имеющаяся система управления и процедура аудита проверяется и утверждается аккредитованной сертификационной организацией или внешним органом сертификации СЭМ;
- подготовка и публикация (возможно – внешнее утверждение) регулярных бюллетеней о состоянии окружающей среды, описывающая все важные аспекты влияния установки на окружающую среду, позволяющей выполнить из года в год сравнение целей и задач по защите окружающей среды с возможностью анализа соответствующих достижений;
- подтверждение приверженности и добровольное принятие международной системы, такой, как Европейская система экологического менеджмента и аудита (EMAS) и EN ISO 14001:2004. Этот добровольный шаг мог бы обеспечить высокую кредитоспособность СЭМ. В частности, EMAS, включающая в себя все три вышеперечисленных

принципа, обеспечивает высокую кредитоспособность. Однако и нестандартные системы могут быть в равной степени эффективными, если они должным образом спроектированы и выполнены.

Специфически для промышленности производства извести важно принять во внимание следующие потенциальные особенности СЭМ:

- влияние на окружающую среду при выводе завода из эксплуатации должно учитываться на стадии проектирования нового завода;
- развитие «чистых» технологий и их дальнейшее совершенствование;
- применение, где осуществимо, на постоянной основе реперных точек по секторам производства, включающих энергетическую эффективность и деятельность по экономии энергии, выбор используемых материалов, выбросы в атмосферу, сбросы в воду, потребление воды и производство отходов.

2.5.2 Основные первичные технические решения

30. НДТ – это достижение ровного и стабильного процесса обжига в печи в соответствии с установленными параметрами, что является полезным с точки зрения всех выбросов из печи, а также потребления энергии путем применения следующих технических решений:

(a) оптимизация процесса контроля, включая компьютерный автоматический контроль;

(b) использование современных весовых систем подачи твердого топлива.

31. НДТ – это осуществление тщательного отбора и контроля всех веществ, поступающих в печь, чтобы предотвратить и/или снизить количество выбросов

32. НДТ – это выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов, таких, как:

(a) непрерывное измерение параметров, характеризующих устойчивость процесса, таких, как температура, содержание O_2, скорость газового потока и выбросы CO;

(b) мониторинг и стабилизация таких критических параметров процесса, как расход топлива, дозировка и избыток кислорода;

(c) непрерывная или периодическая (по крайней мере раз в месяц или и во время наибольших выбросов) измерения выбросов пыли, NO_x, SO_x, HCl и HF,а также проскоков NH_3 при использовании SNCR;

(d) периодические измерения выбросов ПХДД/ПХДБФ, металлов (см. раздел 2.4.8 и BAT 52 в разделе 2.5.9) и общего органического углерода.

В этом контексте при сжигании в качестве топлива отходов следует соответствовать требованиям Директивы по сжиганию отходов [59].

2.5.3 Энергопотребление

Общие соображения относительно энергопотребления могут быть найдены в разделах 2.3.2, 2.4.2 и 2.4.3.

33. НДТ – это снижение расхода тепла на обжиг путем применения комплекса следующих мероприятий:

(a) применение улучшенной и оптимизированной печной системы и плавного, стабильного процесса эксплуатации печи в соответствии с установленными параметрами, используя:

- оптимизацию контроля процесса, включая компьютерный автоматический контроль;
- рекуперацию тепла отходящих газов (если это возможно);
- современную весовую систему подачи топлива (см. разделы 1.4.2.1.1 и 1.4.3.1).

В этом контексте, см. раздел 2.4.2, глее представлены различные технологии, которые могут быть использованы в печных системах, индивидуально или в сочетании.

(b) использование топлива с характеристиками, которые оказывают положительное влияние на расход тепла на обжиг. При замене природного топлива на топливные отходы необходимо использовать подходящие печи и горелки, оптимизированные для сжигания отходов;

(c) ограничение коэффициента избытка воздуха.

В этом контексте следует обратиться к документу, рассматривающему использование наилучшего доступного технического решения (НДТ) для повышения эффективности использования энергии [181].

При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни потребления тепловой энергии:

Таблица 2.42 Уровни использования в известковой промышленности тепловой энергии, связанные с применением НДТ

Тип печи	Потребление тепловой энергии, ГДж/т [1)]
Длинные вращающиеся печи	6,0-9,0
Вращающиеся с запечным теплообменником	5,1-7,8
Регенеративные с параллельнымпотоком материала	3,2-4,2
Кольцевые шахтные	3,3-4,9
Шахтные пересыпные	3,4-4,7
Прочих конструкций	3,5-7,0

[1)] На энергопотребление влияют вид продукции, её качество, условия технологического процесса и качество сырья

В этом контексте следует обратиться к документу, рассматривающему использование наилучшего доступного технического решения (НДТ) для повышения эффективности использования энергии [181].

34. НДТ – это минимизация использования электроэнергии путем применения следующих технических решений в отдельности или в комбинации друг с другом:

(a) использование систем управления потреблением электроэнергии;

(b) использование известняка с оптимальной гранулометрией;

c) использование высокоэффективного помольного оборудования и другое оборудование, основанное на использовании электроэнергии, с высокой энергоэффективностью (см. раздел 2.4.2.

2.5.4 Потребление известняка

Общие соображения относительно потребления известняка можно найти в разделах 2.2.3, 2.2.3.2, 2.3.1 и 2.4.1.

35. НДТ – это минимизация расхода известняка применением следующих технических решений, по отдельности или в сочетании:

(a) специальная система добычи и дробления и четко определенного использования известняка с учетом его гранулометрии и качества;

(b) подбор печей, обеспечивающих использование известняка, характеризующегося широким диапазоном гранулометрии, позволяет более полно использовать добытый известняк.

2.5.5 Выбор топлива

Общие соображения относительно использования топлива можно найти в разделах 2.2.3.2 и 2.4.4.

36. НДТ – это осуществление тщательного подбора и контроля поступающего в печь топлива с целью обеспечить использование малосернистого топлива (в частности для вращающихся печей) с низким содержанием азота и хлора чтобы исключить или снизить соответствующие выбросы.

2.5.5.1 Использование отходов в качестве топлива

Общие соображения относительно использования и выбора горючего отхода можно найти в разделах 2.2.5 и 2.4.4. В этом контексте при сжигании в качестве топлива отходов следует соответствовать требованиям Директивы по сжиганию отходов [59].

2.5.5.1.1 Контроль качества горючих отходов

37. НДТ – это:

a) применение системы обеспечения качества, чтобы гарантировать характеристики отходов и анализ любых отходов, которые могут быть использованы как топливо в известковой печи для:

- постоянное качество;
- физические критерии, например способность к образованию выбросов, наличие грубых частиц, реакционная способность, обжигаемость и калорийность;
- химические критерии, например содержание хлора, серы, щелочей, фосфатов и соответствующих металлов.

b) контроль достаточного количества необходимых параметров для любых отходов, используемых как топливо в известковой печи, таких, как содержание галогенов, некоторых металлов (например хрома, свинца, кадмия, ртути, таллия) и серы.

2.5.5.1.2 Подача в печь отходов

38. НДТ – это:

(a) использование для сжигания отходов в печах соответствующих горелок и режимов обжига.

(b) такая организация режима, чтобы образовавшийся при сжигании отходов газ находился в усредняющих и контролируемых условиях даже при самых неблагоприятных условиях при температуре 850 ^{0}C не менее 2 секунд.

(c) повышение температуры свыше 1100 ^{0}C в том случае, если сжигаемые опасные отходы содержат свыше 1 % органических соединений хлора.

(d) непрерывная и стабильная подача отходов.

(e) прекращать сжигание отходов в период пуска и остановки печи, когда невозможно поддерживать необходимый режим (см. «b» и «c»).

2.5.5.1.3 Обеспечение безопасности при использовании вредных отходов

39. НДТ – это применение мер безопасности при операциях с вредными отходами, например, при их складировании и/или подаче в печь (см. раздел 2.4.4).

2.5.6 Выбросы пыли

2.5.6.1 Неорганизованные выбросы пыли

Общие соображения относительно неорганизованных выбросов пыли можно найти в разделах 2.3.3.1.2, 2.4.5.1 и 2.4.5.2.

40. НДТ – это минимизация/предотвращение неорганизованных выбросов пыли путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) технические решения для процессов, связанных с пылением. В этой связи см раздел 2.4.5.1, где представлено несколько технических решений, которые можно использовать индивидуально или в сочетании друг с другом;

(b) технические решения для процессов хранения насыпных материалов. В этой связи см. раздел 2.4.5.2, где представлено несколько технических решений, которые можно использовать индивидуально или в сочетании друг с другом.

2.5.6.2 Организованные выбросы пыли при операциях, связанных с пылением

В данном разделе рассматриваются наилучшие доступные технические решения для связанных с пылением операций, но не для печных процессов. Общие соображения относительно источников пыления можно найти в разделах 2.3.3.1.1 и 2.4.5.3.

41. НДТ – это применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров. Принимая во внимание указанную систему, НДТ позволяет снизить выбросы пыли при пылящих операциях (см. раздел 2.4.5.3) до величины менее 10 мг/нм^3 как средний показатель за время отбора проб путем применения рукавных фильтров или менее 10 – 20 мг/нм^3 при использовании влажных скрубберов.

Очистку во влажных скрубберах используют главным образом на гидраторах для производства гашеной извести. Следует отметить, что для источников с объёмом выбросов меньше 10000 нм^3/ч это предпочтительное решение.

В этом контексте см. раздел 2.4.5.3, где представлены некоторые технические решения, которые можно использовать по отдельности или в сочетании друг с другом.

2.5.6.3 Выбросы пыли при обжиге в печи

В этом разделе рассматриваются НДТ для выбросов пыли при обжиге в печи. Общие соображения относительно источников выбросов пыли можно найти в разделах 2.3.3.1.1 и 2.4.5.3.

42. НДТ – это снижение выбросов пыли из отходящих из печи газов путем применения очистки газа с помощью фильтра (см. раздел 2.4.5.3). При использовании рукавных фильтров среднесуточная величина выбросов составляет < 10 мг/нм^3. При применении электрофильтров или других фильтров среднесуточная величина выбросов составляет < 20 мг/нм^3.

В исключительных случаях, когда пыль характеризуется высоким сопротивлением, уровень выбросов при использовании НДТ может оказаться выше и по результатам среднесуточных измерений достигать 30 мг/нм^3.

В этом контексте при использовании в качестве топлива отходов рекомендации по их сжиганию можно найти в Директиве по сжиганию отходов [59].

2.5.7 Газообразные соединения

2.5.7.1 Первичные технические решения для снижения выбросов газообразных соединений

Общие соображения, касающиеся выбросов газообразных соединений, можно найти в разделе 2.4.6

43. НДТ – это снижение выбросов газообразных соединений (например NOx, SOx, HCl, CO, органического углерода, металлов) с дымовыми газами печного процесса путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) осуществление тщательного отбора и контроля поступающих в печь веществ;

(b) снижение прекурсоров загрязняющих веществ в топливе и, если возможно, в сырье:
- если возможно, отбирают топливос с пониженным содержанием серы (особенно для вращающихся печей), азота, хлора (см. разделы 2.4.4 и 2.4.6.2);
- если возможно, подбирают сырьевые материалы с пониженным содержанием органического материала;
- выбор в качестве топлива для процесса подходящего отхода и соответствующей горелки (см. разделы 2.2.5,2.4.4 и 2.5.5.1).

(c) использование для оптимизации процесса технических решений для обеспечения эффективного поглощения диоксида серы, т.е эффективного контакта печных газов и негашеной известью (см. разделы 2.3.3.3 и 2.5.5.1);

В этом контексте при использовании в качестве топлива отходов рекомендации по их сжиганию можно найти в Директиве по сжиганию отходов [59].

2.5.7.2 Выбросы NO_x

Общие соображения относительно выбросов NOx можно найти в разделах 2.3.3.2 и 2.4.6.1

44. НДТ – это снижение выбросов NOx в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно следующих технических решений (см. раздел 2.4.6.1):

(a) первичные технические решения:

подбор подходящего топлива с учетом ограничения содержания в нем азота (см. раздел 2.4.4 2.4.6.14);

- оптимизация процесса (форма факела, температурный профиль, см раздел 2.4.6.1.1);
- конструкция горелки (см. горелки с пониженным образованием NOx в разделе2.4.6.1.3);
- стадийная подача воздуха во вращающиеся печи с запечным теплообменником (см. раздел 2.4.6.1.4).

(b) использование в печах Леполь технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота SNCR.

При использовании НДТ могут быть достигнуты следующие уровни выбросов NO_x (Табл. 2.43).

Таблица 2.43 Связанные с использованием наилучшей доступной технологии выбросы NO_x в печных дымовых газах известкового производства

Тип печи	Единица измерения	Суточный уровень выбросов NO_x
Регенеративные с параллельным потоком материала, кольцевые, шахтные пересыпные, печи другой конструкции	мг/нм^3	100 - < 350 [1)3)]
Длинные вращающиеся печи с запечным теплообменником	мг/нм^3	< 200 - < 500 [1)2)]

[1)]Наибольшие значения, присущие обжигу доломита и сильно обожженной извести
[2)]Для вращающихся печей, производящих сильно обожженную известь. Верхний предел достигает 800 мг/нм^3
[3)] В том случае, когда решений из а) не достаточно и другие мероприятия не достаточны для обеспечения выбросов NO_x ниже 350 мг/нм^3, выбросы 500 мг/нм^3 наблюдаются при производстве сильно обожженной извести

45. При использовании технологии SNCR НДТ – это:

(a) применение подходящего и эффективного уровня снижения NO_x в течение стабильного протекания процесса;

(b) применение хорошего и стехиометрического распределения аммиака, для достижения наивысшей эффективности снижения выбросов NO_x и снижения проскоков аммиака,

(c) удерживание выбросов и проскоков NH_3 в отходящих газах на минимально возможном уровне, но ниже 30 мг/нм^3 (среднесуточная величина). Должна учитываться корреляция между эффективностью снижения выбросов NO_x и появлением следов аммиака (см. раздел 2.4.6.1.4 и Рис. 2.50).

2.5.7.3 Выбросы SO_x

Общие соображения, относящиеся к выбросам SO_x, приведены в разделах 2.3.3.3 и 2.4.6.2

46. НДТ – это снижение выбросов SO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно следующих технических решений (см. раздел 2.4.6.2):

(a) использование решений, направленных на оптимизацию процесса, чтобы увеличить поглощение диоксида серы, (т.е. обеспечить эффективный контакт между дымовыми газами и негашеной известью (см. разделы 2.3.3.3 и 2.4.3);

(b) по возможности для длинных вращающихся печей подбирать топливо с пониженным содержанием серы;

(c) использовать дополнительный поглотитель (например, для очистки сухих дымовых газов - фильтров, влажного скруббера, активированного угля);

В Табл. 2.44 приведены уровни выбросов SO_x при использовании НДТ.

Таблица 2.44 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов SO_x с дымовыми печными газами обжига извести

Тип печи	Единица измерения	Среднесуточный уровень выброса SO_x как SO_2 [1)]
Регенеративные с параллельным потоком материала, кольцевые, пересыпные, шахтные, другой конструкции, с запечным теплообменником	мг/нм^3	< 50 - < 200
Длинные вращающиеся печи	мг/нм^3	< 50 - < 400

[1)] Зависит от исходного содержания SO_2 в отходящих газах и от мероприятий по снижению выбросов

2.5.7.4 Выбросы и проскок CO

2.5.7.4.1 Выбросы CO

Общие соображения, относящиеся к выбросам CO приведены в разделах 2.3.3.4, 2.3.3.4.2 и 2.4.6.3

47. НДТ – это снижение выбросов CO в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) выбор (по возможности) сырьевых материалов с пониженным содержанием органического материала (см. раздел 2.4.6.3);

(b) использование мероприятий по оптимизации процесса, которые обеспечивают устойчивое и полное горение (см. раздел 2.5.2);

В этом контексте см. также НДТ 30, 31 и 32 в части первичных мероприятий в разделе 2.5.2.

В Табл. 2.45 приведены уровни выбросов CO при использовании НДТ.

Таблица 2.45 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов CO с дымовыми печными газами обжига извести

Тип печи	Единица измерения	Среднесуточный уровень выброса [1)]
Регенеративные с параллельным потоком материала, шахтные, другой конструкции, длинные вращающиеся и с запечным теплообменником	мг/нм^3	< 500

[1)] Зависит от сырьевых материалов и вида производимой извести, например, гидравлической

2.5.7.4.2 Снижение проскока CO

Общие соображения, относящиеся к проскоку CO, приведены в разделах 2.4.6.3 и в разделе 1.4.5.3 главы, посвященной цементу.

48. При использовании электростатических осадителей НДТ – это снижение частоты проскоков CO путем применения следующих технических мероприятий:

(a) сокращение времени простоя электростатического осадителя. В этой связи см. раздел 1.4.5.3, где представлены некоторые технические решения, используемые по отдельности или в сочетании;

(b) осуществление непрерывного автоматического измерения содержания CO;

в) использование в системах мониторинга CO быстродействующего контрольного оборудования , обеспечивающего быстрое перекрытие источника CO;

В этом контексте см. раздел 4.2.6, в котором представлены гарантийные меры контроля проскока CO.

2.5.7.5 Выбросы общих органических соединений (TOC)

Общие соображения относительно выбросов TOC можно найти в разделах 2.3.3.5 и 2.4.6.4.

49. НДТ – это снижение выбросов TOC с дымовыми печными газами путем применения по отдельности или совместно следующих технических решений:

(a) применение первичных мер (см. НДТ 30-32 в разделе 2.5.2);

(b) исключение использования в печной системе сырьевых материалов с повышенным содержанием летучих органических соединений.

В Табл. 2.46 приведены уровни выбросов TOC при использовании НДТ.

Таблица 2.46 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов TOC с дымовыми печными газами обжига извести

Тип печи	Единица измерения	Среднесуточный уровень выброса TOC
Длинные вращающиеся печи[1)] и с запечным теплообменником[1)]	мг/нм^3	< 10
Регенеративные с параллельным потоком материала[2)], кольцевые[1)], пересыпные[1)2)]	мг/нм^3	< 30

[1)] Зависит от используемого сырья и вида производимой извести
[2)] В исключительных случаях уровень может быть выше

В этом контексте при использовании в качестве топлива отходов рекомендации по их сжиганию можно найти в Директиве по сжиганию отходов [59].

2.5.7.6 Выбросы хлористого (HCl) и фтористого (HF) водорода

Общие соображения относительно выбросов HCl и HF можно найти в разделах 2.3.3.7 и 2.4.6.5

50. При использовании отходов НДТ – это снижение выбросов HCl и HF путем использования по отдельности или совместно следующих предварительных мероприятий:

(a) использование топлива с пониженным содержанием хлора и фтора (см. также раздел 2.4.6.5);

(b) ограничение содержания хлора и фтора в любых отходах, которые могут быть использованы в качестве топлива для известеобжигательных печей (см. разделы 2.4.4 и 2.4.6.5);

При использовании НДТ средний суточный показатель или показатель при периодичном отборе проб через 1 ч или 30 мин. уровня выбросов HCl меньше 10 мг/нм^3. При использовании НДТ средний суточный показатель или показатель при периодичном отборе проб через 1 ч или 30 мин. уровня выбросов HF меньше 1 мг/нм^3.

В этом контексте при использовании в качестве топлива отходов рекомендации по их сжиганию можно найти в Директиве по сжиганию отходов [59].

2.5.8 Выбросы ПХДД и ПХДФ

Общие соображения относительно выбросов ПХДД/ПХДФ можно найти в разделах 2.3.3.6 и 2.4.7.

51. НДТ – это предотвращение или снижение выбросов ПХДД и ПХДФ путем использования по отдельности или совместно следующих предварительных мероприятий:

(a) выбор топлива с пониженным содержанием хлора;

(b) ограничение попадания в топливо меди;

в) ограничение времени пребывания дымовых газов и содержания кислорода в зонах с температурой в пределах 300 – 450 ^{0}C.

С использованием НДТ средние за период контроля (6-8 ч) выбросы ПХДД и ПХДБФ составляют менее 0,5 - 1нг I-TEQ/нм^3.

В этом контексте см. раздел 2.4.7, в котором представлены различные технические решения для совместного и по отдельности использования во вращающихся и шахтных печах.

Кроме того, в контексте использования в качестве топлива отходов рекомендации по их сжиганию можно найти в Директиве по сжиганию отходов [59].

2.5.9 Выбросы металлов

Общие соображения относительно выбросов металлов можно найти в разделах 2.3.3.9, 2.3.3.10 и 2.4.8.

52. НДТ – это минимизация выбросов металлов с дымовыми газами печей путем использования по отдельности или совместно следующих технических мероприятий:

(a) подбор топлива с пониженным содержанием металлов;

(b) использование системы контроля качества для гарантирования характеристик горючих отходов (см. разделы 2.2.5.4. и 2.4.8);

(c) ограничение содержания определенных металлов, особенно ртути

(d) использование эффективных технологий удаления пыли. В этом контексте см. раздел 2.4.5.3, в котором приведены различные технические решения, которые по отдельности и в сочетании способствуют удалению пыли

В Табл. 2.47 приведены уровни выбросов металлов при использовании НДТ.

Таблица 2.47 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов металов с дымовыми печными газами обжига извести

Металлы	Единица измерения	Выбросы при измерениях с интервалом 30мин
Hg	мг/нм^3	< 0,05
∑Cd, Tl	мг/нм^3	< 0,05
∑ As,Sb,Pb,Cr,Co,Cu,Mn,Ni,V	мг/нм^3	< 0,5

По данным разделов 2.3.3.9, 2.3.3.10.1 и 4.3.4 при осуществлении 52 НДТ (a)-(c) достигаются низкие уровни выбросов

В контексте при использовании в качестве топлива отходов рекомендации по их сжиганию можно найти в Директиве по сжиганию отходов [59]. В этой связи см. также НДТ 37 (раздел 2.5.5.1.1) и НДТ 38 (раздел 2.5.5.1.2).

2.5.10 Производственные потери/отходы

Общие соображения по этому вопросу можно найти в разделах 2.3.4 и 2.4.9.

53. НДТ - это :

(a) повторное использование собранной пыли/особого, характерного для процесса материала;

(b) использование пыли производства негашеной и гашеной извести в определенной товарной продукции.

2.5.11 Шум

Общие соображения по этому вопросу можно найти в разделах 2.3.6 и 2.4.10.

54. НДТ – это снижение/минимизация уровня шума при производстве извести путем использования по отдельности или совместно следующих технических решений (см. раздел 2.4.10):

(a) соответствующий выбор места для проведения связанных с шумом операций;

(b) закрытие шумных операций/устройств;

(c) использование виброизоляции устройств;

(d) использование в желобах и течках наружного и внутреннего покрытия;

(e) устройство для защиты от шума противошумных барьеров и строительство защитных стен, а также зеленых насаждений;

(f) звукоизоляция машинного оборудования;

(g) звукоизоляция отверстий в стенах для ввода ленточных конвейеров;

(h) установка глушителей на выпуске воздуха, например, обеспыленного воздуха;

(i) снижение скорости газового потока в трубах;

(j) использование звукоизоляции труб;

(k) установка глушителей на выпуске труб отходящих газов;

(l) использование звукоизолирующих строений для проведения операций, связанных с оборудованием для изменения материала;

(m) окна и двери должны быть закрыты;

2.6. Перспективные технологии в известковой промышленности

2.6.1 Обжиг в кипящем слое

В течение многих лет обжиг тонко измельченного известняка в кипящем слое осуществляют в относительно небольших объёмах. У этой технологии имеется несколько потенциальных достоинств:

- использование содержащего серу известняка
- низкие выбросы NO_x
- низкие выбросы SO_2

И помимо того, что при использовании этой технологии не достигается особенно низкий удельный расход тепла на обжиг, тонко измельченная продукция не подходит для многих целей, при этом в ней относительно велико содержание карбоната кальция. Первоначальные проблемы, связанные с применением этой технологии в печах с суточной производительностью свыше 150 т, по-видимому разрешены.

На Рис 2.53 показана схема печи кипящего слоя. Тонко измельченный известняк подают в подогреватель, использующий тепло отходящих печных газов. Подогретый известняк затем поступает в ёмкость, где создается первая ступень кипящего слоя, температура известняка повышается, и он начинает обжигаться. По мере обжига известняка более легкая негашеная известь перетекает через разделительную стенку в пространство второй стадии кипящего слоя, где завершается обжиг. Затем негашеная известь проходит через холодильник, где охлаждается наружным воздухом.

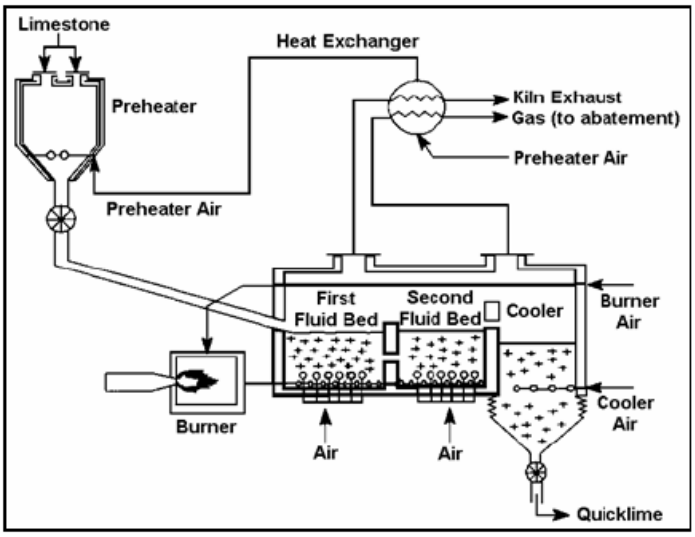

Рис. 2.53 Печь кипящего слоя

Limestone-известняк ;Preheater- подогреватель; Air-воздух; Heat Exchanger- теплообменник; Kiln Exhaust-отходящий газ из печи; Gas(to abatement) - очистка газа; Burner-горелка; First -первая; Second-вторая; Fluid Bed - кипящий слой; Cooler-холодильник; Quicklime-негашеная известь

Несмотря на то, что при осуществлении технологии кипящего слоя происходит меньшее, чем при использовании других печей загрязнение, отсутствуют четкие доказательства возможности получения в кипящем слое тонко дисперсной высоко активной извести.

2.6.2 Обжиг во взвешенном состоянии/подогреватель во взвешенном состоянии

В цементной промышленности разработана технология подачи тонко измельченного известняка в подогреватель взвешенного состояния - декарбонизатор. Однако такая техно-

логия подходит лишь для известняка определенного качества и поэтому используется в очень малом количестве установок. Эта технология осуществлена на двух печах в Австралии. На одной из них продукт из декарбонизатора проходит короткую вращающуюся печь, используемую для регулирования содержания $CaCO_3$ и контроля соответствия активности требованиям потребителя.

Такая технология особенно подходит для «песчаного» известняка, поскольку обжиг во взвешенном состоянии подразумевает подачу материала размером 0 - 2мм. Для осуществления рассматриваемой технологии необходимы высокие капиталовложения, которые вероятно ограничивают их относительно высокую (например, около 500 т/сутки) производительность.

2.6.3 Керамические фильтры

В 2008 г. в известеобжигательных печах не использовали керамические фильтры. Однако они способны эффективно удалять пыль из газов с очень высокой температурой. И в таких печах, как вращающихся, производящих мертво обожженный доломит, возможно использование керамических теплообменных устройств.

2.6.4 Дожигание дымовых газов шахтных пересыпных печей

Для обработки дымовых газов шахтных пересыпных печей рассматривается два варианта очистки:

- Рекуперативный термический окислитель. Основным достоинством рассматриваемой технологии является относительно слабая чувствительность к концентрации пыли до 30 мг/нм^3. Кроме того, из-за наличия в окислителе высоких температур не могут образоваться аммонийные соли, которые засоряют и корродируют оборудование. Однако при самых благоприятных режимах эта технология требует дополнительных (до 0,85 ГДж/т продукции) затрат тепла. В 2008 г. отсутствуют практические испытания, подтверждающие эффективность очистки и затраты при использовании этой технологии.
- Регенеративный термический окислитель. Опытные испытания небольшого регенеративного окислителя провели на нескольких заводах, оснащенных отапливаемых различным видами твердого топлива шахтными пересыпными печами. Окислитель устанавливали между тканевым фильтром и трубой и часть (до 1500 нм^3/ч) дымовых газов (как показано на Рис. 2.54) отделяли от основного потока дымовых газов.

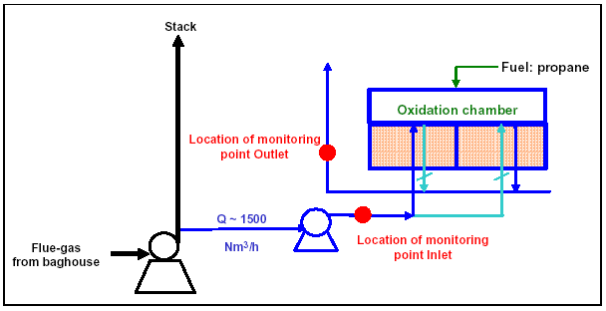

Рис 2.54 Пример технологической схемы обработки дымовых газов [54]

Flue-gas from baghouse-дымовые газы из тканевого фильтра ;Stack- труба; Location of monitoring point-расположение точек мониторинга ; Outlet-выход ;inlet-вход ; Fuel-propan- топливо-пропан; Oxidation chamber-камера окислителя

Состав дымовых газов на входе и выходе из окислителя подвергали тщательному контролю в течение нескольких часов (см. Табл. 2.37).

Таблица 2.48 Состав дымовых газов по результатам мониторинга в течение нескольких часов [54]

Замеры	Вещества	Средняя концентрация, мг/нм^3 на входе	на выходе
	CO	4900	35
1	TOC	32	0,1
	H_2S	<0,8	<0,7
	CO	14650	95
2	TOC	1220	0,4
	H_2S	2	<0,8
	CO	6270	51
3	TOC	338	1,3
	H_2S	1,4	<1,2
	CO	10810	95
4	TOC	37	0,2
	H_2S	-	-
	CO	14230	128
5	TOC	34	0,3
	H_2S	20	<0,9
	CO	14450	115
6	TOC	53	0,5
	H_2S	33	<0,5

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что хорошо спроектированный окислитель может работать в автотермическом (без подвода дополнительной энергии) режиме в том случае, когда концентрация CO в дымовых газов до обработки превышает 1,5-2 %. В этом случае эффективность удаления оксида углерода, общего органического углерода и сероводорода достигает 98 %. Концентрация CO в дымовых газах после очистки всегда не превышает 100 мг/нм^3 [142]. Однако в противоположность рекуперативной системе это оборудование требует, чтобы в дымовых газах содержалось очень мало (не более 5мг/нм^3) пыли. Если температура на выходе слишком низкая(ниже 200 ^{0}C) могут формироваться аммонийные соли. В этом случае наблюдается коррозия труб и/или неконтролируемый выброс пыли. Эти испытания также показали, что в том случае, когда CO превышает 2-3 %, в окислителе при окисление загрязняющих веществ образуется слишком много тепла. Это может привести к серьезным нарушениям в работе оборудования.

Вывод о том, какую технологию следует выбрать, следует основывать на следующем (не исчерпывающем) перечне критериев:

- характеристиках дымовых газов - скорость течения, содержание кислорода, CO, TOC и температура;
- изменение этих параметров во времени;
- характеристика обеспыливающей системы.

Кроме того, наилучшее решение можно принять с учетом местных условий [54].

2.7 Выводы и рекомендации

Расписание рабочего процесса

Встреча инициативной группы для обсуждения справочника по НДТ состоялась в сентябре 2005 г. Рабочая группа согласилась расширить сферу действия этого документа, посвященного производству цементу и извести, добавив в него раздел, связанный с промышленным производством оксида магния (MgO/магнезии) по технологии сухого способа. После периода сбора информации и данных состоялась в феврале 2007 г. вторая встреча рабочей группы для того, чтобы подтвердить и согласовать информацию и данные, которые должны быть включены в переработанный справочник по НДТ. Более того, рабо-

чая группа поставила вопрос об исключения процедуры обзора этого документа для того, чтобы разделить дискуссию по разделам 1-4 и разделам НДТ трех глав, посвященных цементу, извести и оксиду магния.

Исходя из запроса рабочей группы и принимая во внимание общую схему справочников по НДТ (декабрь 2005 г.), форум обмена информацией согласился разделить обсуждения разделов 1-4 и НДТ по трем главам, посвященных цементу, извести и оксиду магния.

Первый вариант документа, охватывающий переработанные разделы 1-4 и 6 трех глав, рассматривающих цемент, известь и оксид магния, был издан для обсуждения в сентябре 2007 г. Вторая часть первого варианта, охватывающая разделы технологии, обсуждающие определение НДТ, (разделы1.4 ,2.4 и 3.4) и раздел НДТ (1.5,2.5 и 3.5) этих трех глав, была издана для обсуждения в мае 2008 г. Завершающая встреча рабочей группы состоялась в сентябре 2008 г.

Первый вариант пересмотра документа, представляющего справочник НДТ, являющегося пионером первой серии справочников НДТ, был встречен с огромным интересом. В работе пленарного совещания завершающей встречи рабочей группы приняло участие 110 членов рабочей группы.

Исходя из общей схемы обзора справочников НДТ (декабрь 2005 г.), пересмотр справочников НДТ по цементу и извести не вызвал полной переделки первого документа, принятого в декабре 2001 г., но привел к модернизации и включению дополнительной информации, обзор которой (например, относительно технологии) внес вклад в окончательные НДТ. Обмен информацией и сбор данных был основан на пожеланиях рабочей группы и на выводах, согласованных при второй встрече рабочей группы (январь 2007 г.). Руководящий документ по сбору данных, согласованный с форумом обмена информации в апреле 2008 г., не использовался в этом процессе.

Источники информации, использованные главе об извести и пробелы в информации

Пересмотр главы, посвященной извести, основан на данных 35 документов, поступивших от промышленности и стран-членов сообщества. Эти доклады представлены на рассмотрение Европейской известковой ассоциацией, представляющей большинство европейских производителей извести, и стран-членов Германии, Австрии, Франции, Финляндии, Португалии ,Италии, Испании, Венгрии и Чешской республики. Эти доклады можно рассматривать как строительный материал для пересмотренной посвященной извести главы настоящего документа.

Дополнительная полезная информация была получена в ходе посещения известковых предприятий Австрии, Германии и Финляндии

На основе полученных информации и данных, а также критических замечаний в течение консультативного периода глава, посвященная извести, была переработана осовремениванием информации и данных. Кроме того, были добавлены дополнительные разделы, например, посвященные использованию отходов в качестве топлива и/или сырьевых материалов, а также их потреблению в процессе производства извести, типам известеобжигательных печей, их конструкции и технологии, некоторым видам выбросов в воздух, влиянию на выбросы использования отходов, примеры затрат на различное оборудование для очистки дымовых газов и на систему экологического менеджмента.

Несмотря на большое количество информации и комментариев по различным выпросам, следует подчеркнуть некоторые проблемы, связанные с доступностью данных и соответствующими выводами:

- недостаток информации об энергопотреблении в связи с наилучшими показателями эксплуатации различных печей и видом продукции; однако энергопотребление для НДТ рассматривается в широком смысле;
- недостаток данных относительно мониторинга выбросов и частоты мониторинга, т.е. периодичности измерений;

- для снижения и устранения выбросов NO_x использовали лишь первичные мероприятия. В 2008 г. SNCR использовали лишь на печах Леполь (одно предприятие с четырьмя печами). Использование SNCR находится в стадии испытаний два года. Ощущается недостаток информации и данных относительно продолжительного использования SNCR в известковой промышленности в связи с обеспечением наилучших показателей выбросов NO_x и проскока NH_3. В 2008 г. отсутствовала доступная информация о применении SNCR в других типах (кроме Леполь) печах, используемых при производстве извести.
- недостаток информации относительно частоты и продолжительности проскока CO при использовании электростатических осадителей, поэтому НДТ основываются на качественном подходе;
- до определенной степени наблюдается недостаток информации относительно видов выбросов металлов и связи между выбросом металлов (ртути) и оптимальными приемами их снижения;
- ощущается недостаток информации связанной с выбросами шахтными пересыпными печами ТОС и их снижением. Кроме того, сообщают о высоком (до 2500 мг/нм^3) выбросе CO, на который влияют различные факторы (см. рис 2.40). Предотвратить эти явления трудно и до известной степени невозможно. Возможно использовать технологию последующего дожигания дымовых газов, но она нуждается в дальнейшем развитии и изучении;
- в качестве перспективной технологии рассматривается обжиг извести в кипящем слое (см. раздел 2.6.1),мно у рабочей группы отсутствует информация о том, как может развиваться эта технология.

Уровень согласования на завершающей встрече рабочей группы

Выводы по работе,мсвязанной с известковой главой, были согласованы на завершающей встрече рабочей группы в сентябре 2008мг. Главной темой обсуждения на этой встрече были выводы, касающиеся НДТ. Предложенные НДТ обсуждали раз за разом.

На завершающей встрече рабочей группы была достигнута высокая степень согласия о НДТ для известкового производства, не было зафиксировано никакого раскола во мнениях. Более того, при ретроспективном рассмотрении всего периода обмена информацией сделан вывод о том, что процесс обмена информации прошел успешно.

Рекомендации по дальнейшей работе

Обмен информацией и его результат для известковой промышленности -посвя-щенная извести глава данного документа- представляют важный шаг в направлении достижении общего предотвращения и контроля уровня загрязнения при производстве извести. Дальнейшая работа над последующими изданиями может включать процесс:

- сбора данных путем принятия во внимание руководства предложенного форумом обмена информацией в документе, изданном в апреле 2008 г., для отражения использования на уровне предприятия определенной технологии, особенно возможной НДТ;
- сбора информации относительно соотношения между типом процесса, используемым отходом(видом, количеством) и выбросами;
- сбора данных о расходах(инвестиции, эксплуатационные), связанных с технологией, рассматриваемой при определении НДТ;
- сбора данных о расходах на эффективное использование технологии очистки;
- сбора информации и данных по мероприятиям, направленных на минимизацию энергопотребления или повышение эффективности энергопотребления;
- сбора информации об энергопотреблении при наилучших производственных показателях различных типов печей при выпуске различных видов продукции;
- сбора информации о мониторинге выбросов и частоте мониторинга, т.е о периодичности мониторинга;

- исследования документа о общих принципах мониторинга;
- сбора информации об использовании отходов (использование, критерии применения);
- сбора информации и данных относительно использования SNCR в известковой промышленности для снижения выбросов NO_x и проскока NH_3;
- сбора большей и детальной информации о выбросах металлов и об исследовательском оборудовании для снижения выбросов металлов (особенно ртути);
- изучения и сбора информации о частоте и продолжительности проскока CO при использовании электростатического осадителя;
- необходимы дальнейшие исследования регенеративных печей с параллельным потоком для разрешения проблемы выбросов TOC необходима дальнейшая информация о выбросах CO и TOC шахтными пересыпными печами, особенно в связи с дожиганием (раздел 2.6.4);
- сбора информации о технологии производства извести в кипящем слое.

Темы, предполагаемые для будущих научно - исследовательских и опытно - конструкторских работ

Что касается технических решений, рассматриваемых в разделе, посвященном вспомогательным технологиям (раздел 2.6), часть будущих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ еще необходимо и полезно провести с тем, чтобы в будущем эти технические решения можно было рассматривать определяющим НДТ известковой промышленности.

Кроме того, ЕС предпринимает и поддерживает программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, серию проектов, посвященных чистым технологиям, появляющимся вариантам технологии и стратегии обработки и регенерации. В принципе эти проекты могут обеспечить полезный вклад в будущие обзоры НДТ. Читателей приглашают информировать EIPPCB обо всех результатах исследований, относящихся к проблематике этого документа (см. Предисловие).

3. Производство оксида магния (технология сухого способа обжига природного магнезита)

3.1 Общая информация

3.1.1 Введение

Оксид магния является наиболее важном для промышленного применения соединением магния, которое используют при производстве стали и огнеупоров. Он также широко используется во многих других отраслях промышленности, включая пищевую промышленность и корма для животных. Сырьевым материалом для производства оксида магния являются два природных минерала - карбонат магния и брусит, а также добываемый из морской воды и рассолов хлорид магния.

Для производства оксида магния (MgO/магнезии) применяют два технологических процесса:

- при использовании карбоната магния осуществляют высокотемпературную реакцию декарбонизации, а сам карбонат магния получают из месторождений манезита (сухой способ обжига природного магнезита);
- при использовании хлорида магния через такие процессы, как реакция высокотемпературного гидролиза и осаждения гидроксида магния (Mg(OH)2). Хлорид магния может быть получен из рассолов, растворением богатых магнием минералов хлористоводородной (HCl) кислотой, а также из морской воды (синтетический или мокрый способ производства) [108].

Однако применение выше упомянутого процесса, начинающегося с использования хлорида магния, ограниченно в связи с тем, что для него при производстве оксида магния требуется втрое больших затрат энергии, чем при технологии сухого способа. Более подробную информацию о технологии мокрого способа можно найти в документе о НДТ при производстве больших количеств неорганических химических соединений, где описан такой процесс получения оксида магния [108].

В настоящей главе рассматривается производство оксида магния (MgO/ магнезии), которая существует в виде мертво обожженного магнезита (DBM), обожженного каустического магнезита (CCM) и плавленого магнезита (FM) (см. раздел 3.1.2.1.1), получаемых обжигом ископаемого природного магнезита (карбоната магния $MgCO_3$) по технологии сухого способа. В Европе не используют для получения оксида магния брусит, хотя в этом случае осуществляются такие же, как при обжиге магнезита, стадии производственного процесса и необходимые условия обжига. В этом документе не рассматривается мокрый способ производства оксида магния из хлорида магния ввиду отличий этой технологии и сырьевых материалов.

Однако в определенных случаях при потребности рынка эти два вида магнезии невозможно разграничить. В этом документе имеется специальная ремарка на случай, если это происходит.

3.1.2 Производство оксида магния в мире и в Европе

Мертво обожженный магнезит (DBM), обожженный каустический магнезит (CCM) и плавленый магнезит (FM) производят и торгуют им во всем мире. На рис. 3.1 приведен обзор источников и производителей оксида магния в мире.

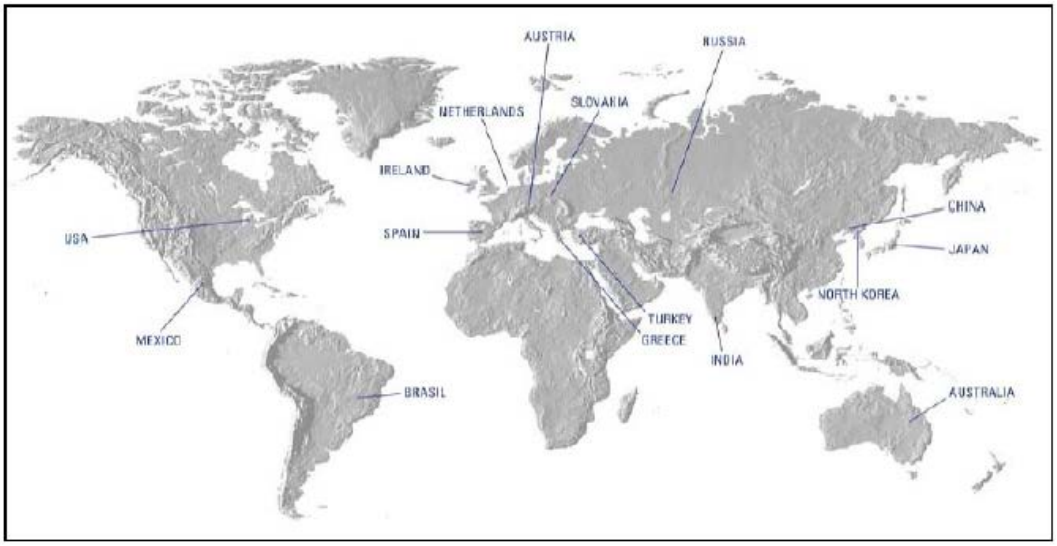

Рис. 3.1 Мировые источники оксида магния и страны-производители [109, 165]

USA-США ; Mexico-Мексика ; Brasil-Бразилия ; Spain-Испания ;Ireland-Ирландия ; Netherlands-Нидерданды ;Austria-Австрия ; Slovakia-Словакия ; Russia-Россия ; China-Китай ;Japan- Япония; North Korea-Северная Корея ;Australia-Австралия ; India-Индия Greece-Греция ;Turkey-Турция

На рис 3.2 приведены данные за период 1981-2003 гг. о добыче магнезита в мире и в странах ЕС-25, использующих технологию сухого способа.

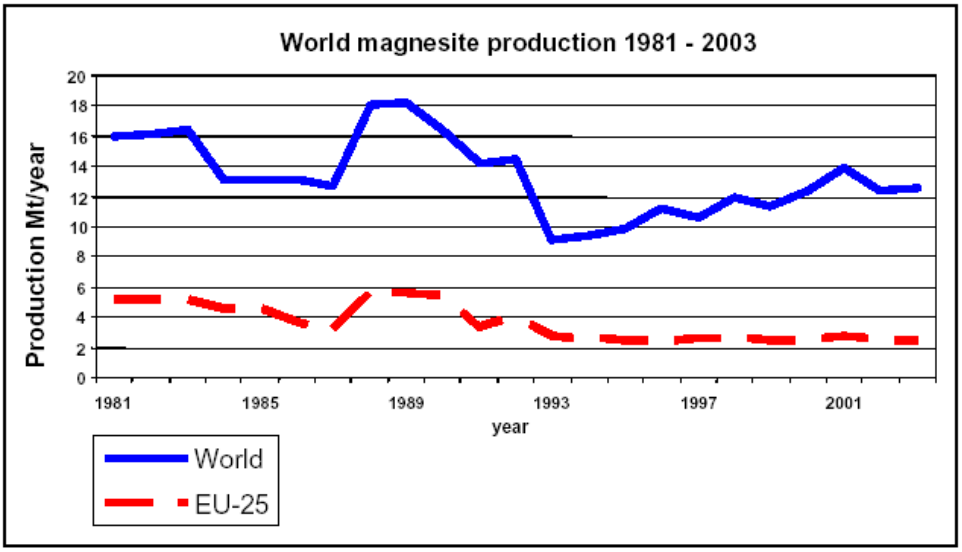

Рис. 3.2 Добыча сырого магнезита в странах ЕС-25 и в мире [109, 110, 165]

World magnesite production – мировая добыча магнезита ;Production Mt/year - производство, млн. т/год; World-в мире , EU-25-ЕС-25

В табл. 3.1 приведенs данные стран-производителей в 2000-2005 гг.

Таблица 3.1 Мировое производство магнезита в 2000-2005 гг.

Страны	Производство сырого магнезита, т					
	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
Албания [1)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Австралия	349933	540000	540000	553847	586393	590000
Австрия	725832	680534	728235	766525	715459	693754
Бразилия	300000	265749	310000	330000	350000	386759
Канада	270000	300000	200000	150000	140000	120000
Китай	4230000	4300000	4400000	4500000	4650000	4800000
Колумбия	7100	7000	6900	6700	6500	6300
Чешская рес-	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д

публика [2)]						
КНДР	650000	650000	450000	580000	Н.д	Н.д
Греция	492780	483295	558057	549049	499474	500000
Гватемала [3)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Индия	340000	330000	280000	300000	320000	380000
Иран	140000	133778	128565	91700	91700	120000
Кения [4)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Ю.Корея	650000	650000	450000	580000	600000	800000
Мексика [5)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Непал [6)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Пакистан	3610	3000	4430	4700	4900	3029
Филиппины [7)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Польша	54830	23000	24000	33000	35000	37000
РФ (Европа)	1400000	1380000	1350000	1080000	900000	885000
РФ(Азия)	140000	138000	150000	120000	100000	95000
Сербия и Черногория	0	0	0	73000	70000	60000
Словакия	1535200	1537000	1464500	1640900	965900	1555000
ЮАР	97446	98000	99000	100000	120000	130000
Испания	423605	438194	462200	468900	Н.д	Н.д
Таиланд [8)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Турция	2672089	2738086	2800000	3244278	Н.д	Н.д
США [9)]	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д
Югославия	80000	78000	75000	73000	0	0
Зимбабве	5800	6000	6200	6400	6500	6800

Для некоторых стран доступны данные за периоды:
1) 1988-1994
2)1981-1994
3)1984-1992
4)1984-1992
5)1988-1994
6)1983-1992
7)1984-1994
8)1988-1992
9) 1981-1983
Н.д -нет данных

В 2003 г. мировое производство оксида магния (магнезии) по технологии сухого способа составило 12,5 млн. т. В странах ЕС-27 в 2003 г. было выпущено 2,3 млн. т, что составило 18,4 % мирового производства. Для сопоставления в 1981г., когда европейские страны были самостоятельны, здесь производилось 32 % мирового производства, доля мирового производства стран ЕС заметно сократилась. Поэтому в 1995 и 2005 гг. Европейская комиссия опубликовала правила по защите от демпингового импорта стран - не членов ЕС и ввела защитные пошлины на импорт оксида магния [166, 167].

В табл. 3.2 приведены оценочные данные о производстве обожженной магнезии в 2003 г.

Таблица 3.2 Мировое производство обожженного оксида магния/магнезии в 2003 г. [109, 110, 165]

Вид оксида магния	Выпуск, млн. т
Природный оксид магния	5,8[1)]
Синтетический оксид магния	0,6[2)]
Суммарный выпуск оксида магния	6,4[3)]

[1)]оксид магния по технологии сухого способа
[2)]оксид магния по технологии мокрого способа
[3)]Суммарное производство

Мировое производство различных видов оксида магния (мертво обожженной магнезии (DBM), обожженной каустической магнезии (CCM) и плавленой магнезии (FM) в 2003 г. из-за статистических неточностей колебалось между 6,4 и 6,7 млн. т. На рис. 3.3 проиллюстрировано соотношение различных видов оксида магния в мировом его производстве (100 % = 6,7 млн. т).

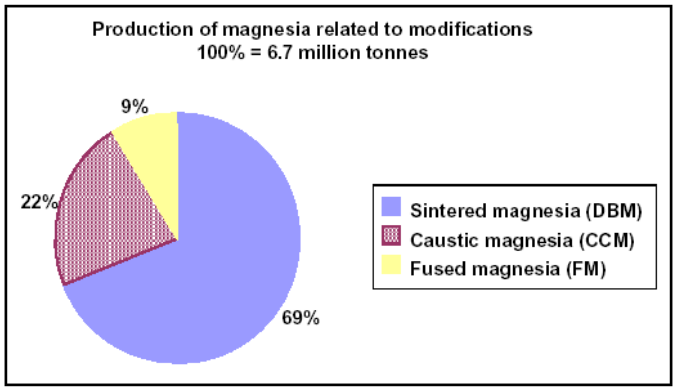

Рис 3.3 Мировое производство различных модификаций оксида магния в 2003 г. [109, 110, 165]

Production of magnesia related to modifications- производство различных модификаций ; Sintered- обожженная ; Caustic-каустическая; Fused- плавленная

В ЕС-27 не так много производителей оксида магния, и поэтому число таких предприятий невелико (см. табл. 3.3). Всего девять стран ЕС-27 производят оксид магния на 14 предприятиях. В среднем на каждом предприятии установлены 1 - 3 печи, только на одном предприятии установлено 8 печей. Экономическая активность производства сосредоточена на небольшом пространстве.

Таблица 3.3 Производство обожженного оксида магния в странах ЕС-27 [109, 110, 165]

Страна	Число производителей	Количество предприятий
Греция	1	1
Испания	2	2
Австрия	2	5
Польша	1	1 [1)]
Словакия	3	5
Итого	9	14

[1]) по оценке

В табл. 3.4 приведены данные о добыче сырого магнезита и производстве по технологии сухого способа различных модификаций оксида магния в странах ЕС-25 в 2003 г. Около 98 % добываемого магнезита используется для производства мертво обожженной магнезии (DBM), обожженной каустической магнезии (CCM) и плавленой магнезии (FM).

Таблица 3.4 Добыча магнезита и производство оксида магния по технологии сухого способа в странах ЕС-25 в 2003 г. [109, 110, 165, 168]

Страны	Добыча магнезита, т	Производство оксида магния, т		
		DBM	CCM	FM
ЕС-25	2398574			
Греция	549049	84635	92350	
Испания	468900	60000	150000	
Австрия	766525			6000
Польша	33000			
Словакия	900000			

Торговля сырым магнезитом весьма ограничена. В керамическом производстве и в производстве стали и также в качестве источника для производства других соединений магния используют специальные сорта магнезита. В 2003 г. весь этот рынок охватывал 2 % добываемого магнезита [109, 110, 165].

3.1.2.1 Виды продукции оксида магния(магнезии)

3.1.2.1.1 Магнезия

Магнезия – это химически чистый оксид магния (MgO), известный и под названием «периклаз». Температура плавления магнезии около 2800 ^{0}C. Такая высокая температура

плавления является причиной предпочтительного использования магнезии в качестве сырьевого материала для огнеупорных материалов, используемых при высокотемпературных процессах в сталелитейном, цементном, известковом, стекольном производстве и при производстве цветных металлов.

Можно производить следующие виды магнезии:

- мертво обожженную (DBM) ,
- обожженную каустическую (CCM)
- плавленую (FM).

Указанные виды магнезии отличаются своими физико-химическими характеристиками. Различные сорта магнезии отличаются по химической чистоте. В зависимости от источника магнезия содержит от 55 до 98 % оксида магния (MgO). Основными примесями являются: SiO_2, Fe_2O_3, CaO и Al_2O_3. Эти примеси влияют на качество магнезии. В обожженной каустической магнезии содержатся значительные количества CO_2 [67, 109, 110, 165].

3.1.2.1.1.1 Спеченная /мертво обожженная магнезия (DBM)

Мертво обожженную магнезию (DBM) получают в процессе обжига при 1600-2200 ^{0}C. Отдельные виды DBM отличаются содержанием извести, которое может достигать от менее 2 до 35 %, и содержанием SiO_2, которое должно быть минимальным. Для специального применения требуется магнезия с минимальным содержанием железа. Мертво обожженная магнезия кристаллизуется виде кубических кристаллов, как правило, характеризуется плотностью 3,45 г/см^3 и размером кристаллов 30-200 мкм. Мертво обожженную магнезию производят в виде зерен и брикетов.

3.1.2.1.1.2 Обожженная каустическая магнезия (CCM)

Обожженную каустическую магнезию (CCM) является магнезитом с частично устраненной кислотностью или $Mg(OH)_2$, в котором сохранена оригинальная модификация кристаллов, т.е. кристаллическая структура исходного вещества сохраняется при обжиге при температурах 600-800 ^{0}C и свободны точки присоединения CO_2 (имеются бреши в кристаллической структуре). В результате CCM характеризуется высокой удельной поверхностью, и поэтому она по сравнению с DBM и FM характеризуется высокой активностью. CCM обычно встречается либо в виде рыхлого порошка (мелкого, пористого) или очень рыхлых кусочков. Обжиг при температурах выше 1300 ^{0}C используют для получения различных сортов CCM.

3.1.2.1.1.3 Плавленая магнезия (FM)

Плавленую магнезию (FM) получают при плавлении в электродуговых печах при температурах около 2800 ^{0}C. Различие между плавленой и спеченной магнезией состоит в том, что плавленая магнезия характеризуется большей (3,43-3,54 г/см3) плотностью и размером кристаллов 200-2000 мкм.Плавленую магнезию используют в огнеупорных материалах и для некоторых специальных целей, например, ядерных реакторах. Ввиду того, что в Европе плавленая магнезия производится в очень малых количествах, в данном документе её производство детально не описывается.

3.1.2 Применение магнезии

Спеченная или мертво обожженная магнезия в основном используется в производстве огнеупоров. Ниже приведены примеры области применения использующих магнезию огнеупоров:

- в производстве стали, например, в электродуговых или других печах, в конверторах, при транспортировке горячего металла;

- в цементном производстве, например, на впуске из запечного теплообменника, в печах и холодильниках;
- в печах цветной металлургии;
- в известковом производстве, например, на впуске известеобжигательных печей;
- в стекольном производстве, например, в плавильных печах и желобах.
- Основными областями применения обожженной каустической магнезии являются:
- сельскохозяйственное производство - в кормах и в качестве удобрения;
- производство стали - для кондиционирования шлака;
- строительное производство - покрытие полов и изоляция;
- производство целлюлозы, бумаги, химических и фармацевтических препаратов, огнестойких материалов;
- промышленность по защите окружающей среды.

На рис. 3.4 показано распределение магнезии по различным областям применения (мировое её производство в 2003 г. принято равным 6,7 млн. т). Основной областью применения магнезии является производство огнеупоров. При этом 65 % магнезии используется в производстве стали,15 % - в цементной промышленности и 7 % при производстве огнеупоров другого назначения (например, для цветной металлургии и стекольного производства), и 13 % магнезии находят другое применение. Таких применений около 80, они очень разнообразны и в целом относятся к использованию каустической обожженной магнезии (ССМ). Основными применениями ССМ являются сельское хозяйство, где магнезия используется в кормах и в качестве удобрения, строительство - для покрытия полов и изоляции, производство целлюлозы, бумаги, химикатов и фармацевтических препаратов, а также огнестойких материалов, а также на предприятиях по защите окружающей среды.

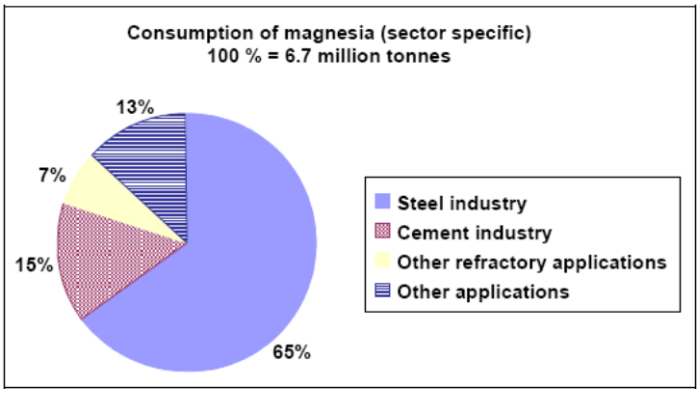

Рис. 3.4 Специфические области мирового применения магнезии в 2003 г. [109, 110, 165]

Consumption of magnesia (sector specific)- специфические области применения магнезии ;Steel industry-производство стали ; Cement industry-цементная промышленность; Other refractory application- применение в качестве огнеупоров в других отраслях

Отсутствуют точные статистические данные, иллюстрирующие распределение и применение природной магнезии, но можно предположить, что они не существенно отличаются от данных для синтетической магнезии.

Удельное мировое потребление содержащих магнезию огнеупорных материалов снижается, однако мировое производство стали увеличивается и в результате этого, исходя из мировых перспектив, потребность в содержащих магнезию огнеупорных материалах продолжает непрерывно возрастать, как это показано на рис. 3.5. На рис. 3.5 также приведены данные об использовании магнезии при выпуске шлака, что составляет до 10 % общего потребления магнезии.

В 1994 г. мировое производство необработанной стали составило около 700 млн. т, к 2005 г. производство стали увеличилось до 1000 млн. т. В этот же период (1994-2004 гг.) удельная потребность в магнезии снизилась на 24 %, с 5 до 4,2 кг/т стали. Однако, как это показано на рис 3.2, в мировом масштабе видно, что в сочетании с ростом производства стали потребность в магнезии и особенности магнезита непрерывно растет. Параллельно с ростом использования в магнезии в производстве стали растет производство магнезита с 9,4 (1994 г.) до 12,5 (2003 г.) млн. т в год [67, 109, 110, 165, 168].

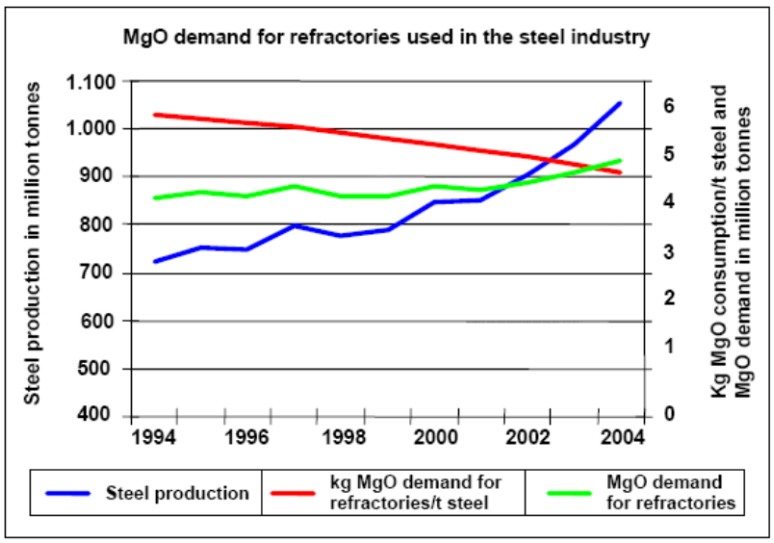

Рис. 3.5 Мировая потребность в огнеупорах для производства стали [109, 110, 165]

MgO demand for refractories used in the steel industry- потребность в MgO для огнеупоров, используемых при производстве стали ; Steel production- производство стали ; Kg MgO consumption/t steel and MgO demand in millon tones- потребление кг MgO на 1т стали и потребность MgO в млн т

3.2 Применяемые процессы и техника

3.2.1. Сырьевые материалы и их подготовка

При производстве магнезии (DBM, CCM, FM) наиболее важными сырьевыми материалами являются:

- магнезит (карбонат магния) = $MgCO_3$ (сухой способ);
- брусит (гидроксид магния) = $Mg(OH)_2$ (сухой способ);
- бишофит (хлористый магний) = $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (мокрый способ)
- морская вода или доломит (мокрый способ).

Настоящий документ относится к сухому способу производства мертво обожженной магнезии из магнезита, применение в качестве сырьевого материала брусита играет второстепенную роль. Процесс производства, использующий хлорид магния (мокрый способ) вообще не будет рассматриваться. Более подробную информацию о мокром способе можно найти в ссылке [108].

Сырьевые материалы добывают в открытых карьерах или подземных шахтах, где при добыче происходит первое снижение размера кусков и первичная обработка. Для подготовки сырьевых материалов используют стандартное оборудование для дробления, измельчения и рассеивания. В зависимости от природы камня - твердости, размера его кусков- используют различные виды оборудования для первичного и вторичного дробления. Однако размер кусков камня не должен быть слишком мал и допустимо минимальное образование мелочи. Каустическую обожженную магнезию после обжига обычно превращают в готовый продукт измельчением.

Для подготовки магнезита иногда используют тяжелый шлам. Для удаления примесей сырьевые материалы часто промывают. Кроме того, с помощью магнитного сепаратора осуществляют непрерывную магнитную сепарацию.

Спеченную или мертво обожженную магнезию обычно до известной степени измельчают в мельницах и после обжига направляют на магнитную обработку. Для измельчения используют различные виды оборудования - шаровые мельницы, валковые мельницы, вибромельницы, валковые прессы высокого давления. Для изготовления брикетов используют двухстадийную термическую обработку.

В настоящем документе также не рассматривается процесс добычи сырья. Полезную информация на эту тему можно найти в ссылке [47].

3.2.1.1 Магнезит

Термином «магнезит» обозначают природный карбонат магния ($MgCO_3$). Магнезит частично формируется при породообразующих процессах, он часто образует залежи вместе с доломитом. Возраст его месторождений превышает 400 млн. лет. В Европе можно найти магнезит во многих местностях, но имеется крайне ограниченное количество месторождений, представляющих коммерческий промышленный интерес. Одно из крупнейших месторождений расположено в Альпах. В целом встречается магнезит двух видов:

1. шпатовый магнезит (Veitsch,содержание железа 4-6 %)
2. гелевидный магнезит (Kraubath, содержание железа менее 0,5 %)

Шпатовый магнезит обладает характерной кристаллической поверхностью с формированием кристаллов макрокристаллического типа; для такого магнезита характерно повышенное содержание железа. Обычно содержание Fe_2O_3 находится в диапазоне 5-8 %. В этом случае наблюдается метасоматическое образование, в ходе которого один минерал замещается другим без плавления и химический состав меняется при взаимодействии расплавов. Значительные месторождения находятся в Австрии, Словакии, КНДР, Бразилии, центрально-азиатских странах и в Китае, где сырьевые материалы также характеризуются пониженным содержанием Fe_2O_3.

Гелевый магнезит не имеет макроскопической структуры, он характеризуется микрокристаллической или криптокристаллической структурой. Гелевой магнезит формируется в результате изменения в богатой магнезитом породе (главным образом в серпентине). Содержание железа редко достигает 1 %. Значительные месторождения находятся в Греции, Турции и в Австралии.

3.2.2 Топливо

В 2007 г. для обжига использовали главным образом следующие виды топлива:

- природный газ
- нефтяной кокс
- тяжелый топливный мазут.

Однако в зависимости от доступности и экономических соображений используют и такие другие виды топлива, как антрацит и уголь. Существует хорошее соотношение эффективности и цены нефтяного кокса (см. раздел 3.4.5. и рис. 3.13), однако ввиду необходимости в производственном процессе использовать большое количество тепловой энергии и достигать высокую температуру, в некоторых случаях добавляют другие горючие вещества.

Воздух обычно подают в процесс горения. В том случае, когда для процесса спекания или мертвого обжига требуются высокие температуры, воздух для горения обогащают технически чистым кислородом.

В 2007 г. ввиду опасности внести примеси в продукцию и в отходящие газы отходы не использовали в качестве топлива. Основная масса продукции должна быть чистой и не содержать каких-либо примесей. Использование отходов может повлиять на качество продукции, этого следует избегать, так как возможно ухудшение огнеупорных свойств спеченной или мертво обожженной магнезии, используемой для изготовления огнеупорного кирпича. Однако в будущем и в результате разработки новых технических решений по применению отходов в качестве топлива при производстве определенных видов магнезии полагают, что производство оксида магния начнет использование таких отходов, как пластики и древесина. В этом контексте аспекты общего контроля и контроля качества как в цементной так и в известковой промышленности можно найти в разделах 1.2.4 и 2.2.5 настоящего документа.

3.2.3 Общее описание процесса получения магнезии (спеченной/мертво обожженной) из магнезита

Магнезию получают путем обжига обработанного и подготовленного природного камня в многоподовой, шахтной или вращающейся печи спекания. Элементарную реакцию можно представить:

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$$

Это эндотермическая реакция требует высокой температуры обжига и очень интенсивного поступления энергии. Удельный расход энергии – высокий: Δ H = +113 кДж/кг MgO. Процесс начинается при 550-800 ^{0}C, магнезит разлагается и выделяется диоксид углерода. В результате получается обожженная каустическая магнезия (ССМ), так называемый «промежуточный реагент». На следующей стадии процесса ССМ подвергается дальнейшему обжигу в одну или две фазы при температурах 1600-2200 ^{0}C до получения мертво обожженной магнезии. Температура и продолжительность тепловой обработки являются решающими факторами, влияющими на качество продукта, который должен быть хорошо закристаллизован и достичь высокой плотности. В ходе рассматриваемого процесса тригональная кристаллическая система магнезита меняется на кубическую и достигается высокая плотность продукта.

На рис. 3.6 приведены схема и естественного хода процесса получения различных видов магнезии.

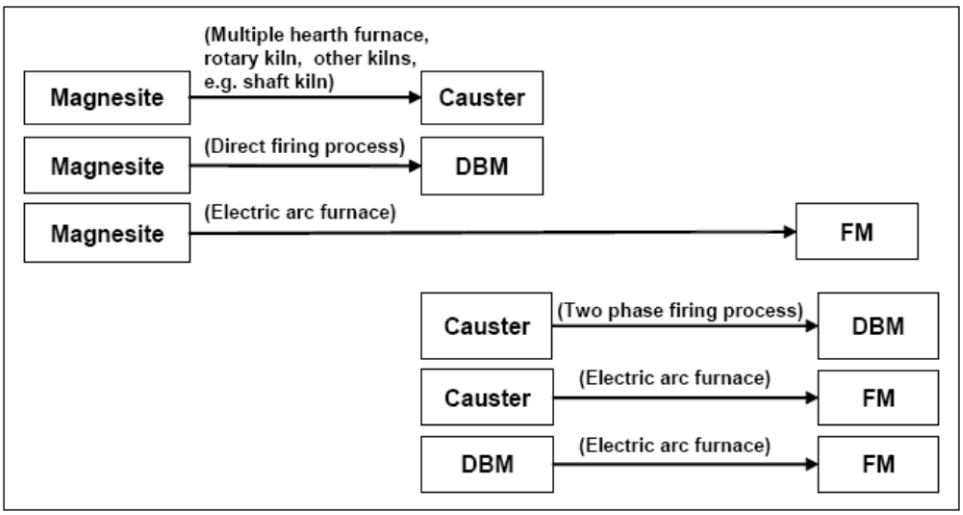

Рис 3.6 Схема естественного хода процесса получения магнезии [67, 109, 165]

Magnesite-магнезит ; multiple hearth furnace, rotary kiln, other kilns, e.g. shaft kiln- много подовая печь, вращающаяся печь, печь другой конструкции, например, шахтная ;Direct firing process- процесс прямого обжига;Electric arc furnace- электродуговая печь; Causter- промежуточный продукт; Two phase firing process- процесс двухфазового обжига

3.2.3.1 Процессы обжига

3.2.3.1.1 Процесс прямого обжига (однофазный обжиг)

Сырой магнезит обжигают в спеченную или мертво обожженную магнезию одностадийно в шахтной или вращающейся печи спекания. Преимуществом такого процесса является меньшая затрата энергии по сравнению с процессом двухстадийного обжига. Однако качество продукта обжига зависит от свойств сырья и не может измениться такими добавками, как диоксид циркония и оксид хрома.

Первый процесс обжига обычно осуществляют с сырьевым материалом, пробы которого проанализированы, отделены и складируются по классам. Загрузку составляют перемешиванием сырьевого материала различных по качеству классов.

Полученную сырьевую смесь обжигают в шахтной или вращающейся печи спекания при температурах 1450-2200 ^{0}C. Продуктом обжига является так называемый промежуточный реагент. После этого процесса обжига полученную сырьевую магнезию можно подвергать дальнейшей обработке.

3.2.3.1.1.1 Подготовка сырьевого спекания

Во многих случаях необходима подготовка и обработка продукта для сырьевого обжига. Магнезию с повышенным содержанием железа подготавливают и обрабатывают в две стадии:

- дробление и измельчение(уплотнение, хромирование, флотация, обработка перед подачей для обжига в печь)
- магнитная обработка (после обжига в печи).

Охлажденный продукт сырьевого обжига можно подвергать магнитной обработке при наружной температуре. При сепарации определяют содержание в обожженном материале извести. Для изготовления сформованных огнеупоров (кирпича) необходимо, чтобы в продукте сырьевого обжига содержалось пониженное количество извести. Для магнитной сепарации используют либо постоянный магнитный или электромагнитный сепаратор. Минеральная фаза – феррит магния ($MgFe_2O_4$) формируется при охлаждении магнезии при 1200-900 ^{0}C и является носителем магнитных свойств.

Решающим принципом этого процесса является: чем быстрее охлаждение, тем больший выход феррита магния. В результате улучшается процесс отделения магнитной составляющей. Таким образом, чем больше образовалось феррита магния, тем полнее протекает процесс магнитной обработки.

Физические характеристики показывают, что это бедный CaO материал, при наличии CaO снижается выход феррита магния. При сепарации происходит удаление соответствующего количества феррита магния. Таким образом, бедные CaO частицы являются более магнитными и характеризуются лучшей способностью прилипать к магнитному барабану, чем обогащенный CaO материал.

В результате магнитной обработки получаются:

- спеченная магнезия, содержащая пониженное количество CaO (феррит магния, магнитный материл)
- спеченная магнезия, содержащая повышенное количество CaO (повышенное содержание CaO со слабыми магнитными свойствами).

Производительность колеблется в широком интервале в зависимости от сырьевого спекания и положения сепаратора на барабанной разгрузке.

На рис. 3.7 приведен пример схемы технологического процесса производства магнезии при сухом способе производства.

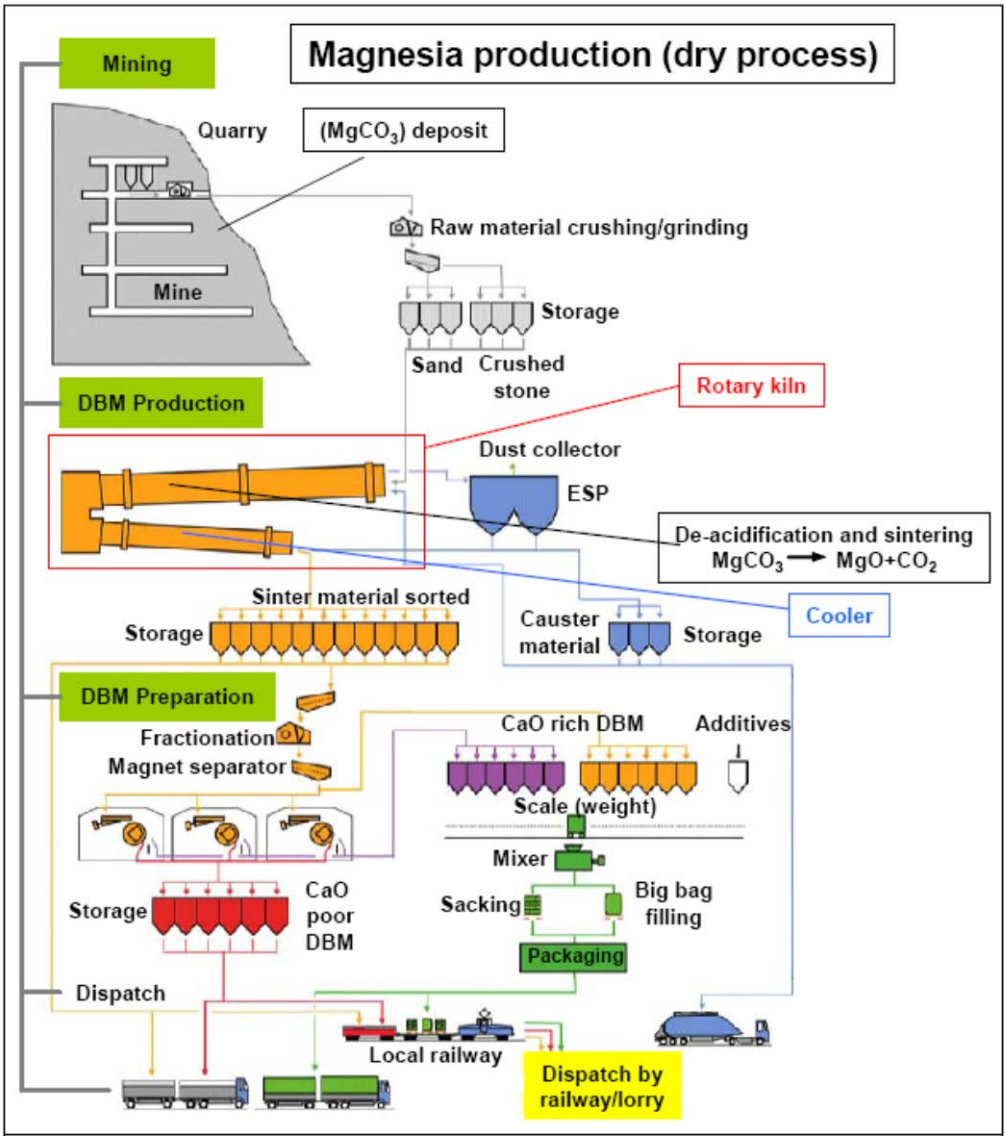

Рис 3.7 Пример схемы технологического процесса получения магнезии по технологии сухого способа [109, 110, 165]

Magnesia production (dry process)- производство магнезии по технологии сухого способа ;mining-добыча ; Quarry-карьер ; Mine-шахта ; Deposit-месторождение ; Raw material crushing/grinding-дробление/измельчение сырьевого материала ; Storage-склад ;Sand-песок ; Crushed stone-дробленый камень ; Production-производство ; Rotary kiln-вращающаяся печь ; ESP-электростатический осадитель ;Dust collector-пылеулавливание ;Sinter material sorted-сортировка спеченного материала ; Cooler-холодильник; Preparation-подготовка ; Caustic material-проиежуточный продукт ;rich- обагащенный ;Fractionation-фракционирование ; Magnet separarator-магнитный сепаратор;poor-бедный ; Dispatch-отгрузка ; Mixer-смеситель ; Sacking-упаковка в мешки; Big bag filling-заполнение мешков повышенной вместимостью ;Local railway-железнодорожная ветка; lorry-грузовик

3.2.3.1.2 Процесс двухфазного обжига

На первой стадии этого процесса можно использовать различное оборудование и типы печей с неподвижным слоем, спекательные шахтные или вращающиеся печи, многоподовые печи, а также печи специальной конструкции для производства обожженной каустической магнезии (CCM).

Сначала магнезит раскисляется в печи при температурах до 1000 ^{0}C. Полученную обожженную каустическую магнезию можно измельчить. Измельчение очень важно для достижения очень высокой плотности мертво обожженной магнезии. Из такого измельченного

материала готовят брикеты, которые обжигают до мертво обожженной магнезии во вращающейся или шахтной печи.

По контрасту с одностадийным процессом обжига при двухстадийном можно существенно влиять на такие характеристики, как размер кристаллов и плотность необработанного материала с помощью добавок различных реагентов (так называемых «легирующих добавок») типа оксидов хрома и циркония.

3.2.3.2 Типы печей – технология и конструкция

Различные типы месторождений в какой-то мере определяют большое разнообразие способов производства. Следует отметить, что отсутствует стандартная печь для процесса производства из магнезита магнезии (естественный процесс). Более того, стандартизация используемых процессов и технологии вовсе не существует. Вместе с тем, существует большое разнообразие процессов, технологий и печей для производства магнезии.

Тип используемой для обжига печи определяется различными параметрами:

- свойствами доступного на месте магнезита
- видом продукции, которую необходимо получить (спеченная магнезия, плавленая магнезия, обожженная каустическая магнезия)
- качеством и характеристиками продукции (плотность, чистота, размер кристаллов)
- стоимость и доступность используемого топлива.

Для каждого вида сырья сам по себе специфичен тип печи и её производительность, качество продукции очень в большой степени зависит от вида печи и технологии. Используются печи различных типов, но наиболее часто - вращающиеся и шахтные печи. Для одностадийного обжига магнезии используют спекательные шахтные и вращающиеся печи (длинные и Леполь). При двухфазном обжиге обожженной магнезии на первой стадии используются те же печи, что для производства чистой каустической магнезии (шахтные и вращающиеся печи), в которых осуществляется последующее спекание. Печи с неподвижным слоем, спекательные шахтные или вращающиеся печи, а также печи специальной конструкции используют для производства обожженной каустической магнезии. Электродуговые печи используют для получения плавленой магнезии. Эти виды печей (за исключением электродуговых и специальной конструкции) для обеспечения эффективности использования энергии работают на принципе противотока.

В шахтных печах обычно обжигают дробленый магнезит с размером кусков более 50 мм или брикеты ССМ. Мелкозернистый магнезит обжигают или во вращающихся печах или превращают в брикетированный промежуточный продукт, который обжигают в шахтной или вращающейся печи, или сбрасывают в отвалы, как показано на рис. 3.8.

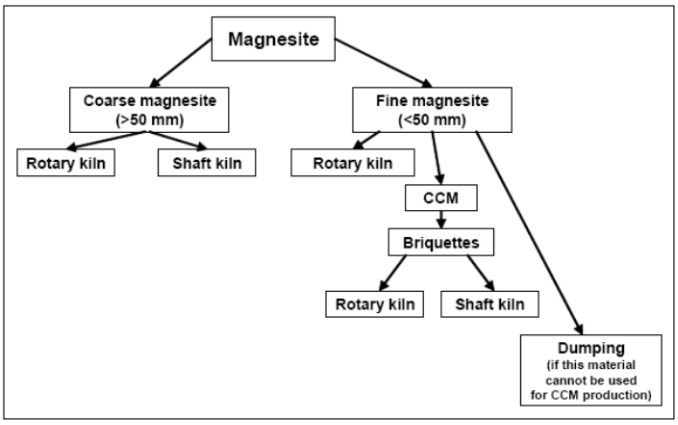

Рис. 3.8 Пути крупного и мелкого магнезита при производстве магнезии [109, 165]

Magnesite- магнезит ; Coarse- крупный; Fine-мелкий ; Rotary -вращающаяся ; shaft-шахтная ;kiln- печь; briquettes-брикеты ; Dumping (if this material cannot be used for CCM production)- в отвал(если этот

3.2.3.2.1 Вращающиеся печи

3.2.3.2.1.1 Вращающиеся печи с запечным теплообменником

Во вращающихся печах с запечным теплообменником (печь Леполь) сырьевой материал подают в зону питания и подогрева печи через решетку теплообменника. Сначала сырьевые материалы и частично раскисляются под воздействием противотока горячих отходящих газов. Частично раскисленный магнезит попадает в печь, где завершается раскисление ещё до достижения зоны горения печи. В течение фазы подогрева часть материала в виде тонко измельченного промежуточного MgO проваливается через решетку Леполь и попадает в зону горения печи. Здесь материал обжигается при температуре 1600-2200 ^{0}C. Продолжительность цикла обжига 8-16 ч. Для дальнейшей обработки материал охлаждают до 200 ^{0}C в зоне охлаждения печи. На рис. 3.9 проиллюстрирован принцип действия вращающейся печи с теплообменником при сухом способе обжига магнезии. Вращающиеся печи с запечным теплообменником для обжига спеченной/мертво обожженной магнезии имеют длину 60-80 и диаметр 2-4 м [67, 109, 110, 165].

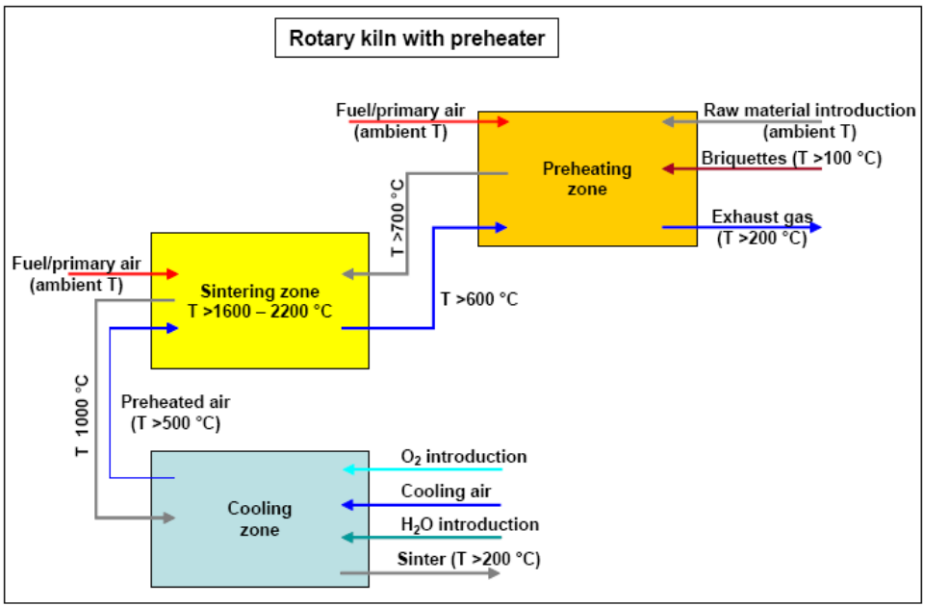

Рис 3.9 Принцип действия вращающейся печи с теплообменником при производстве магнезии [109, 110, 165]

Rotary kiln with preheater- вращающаяся печь с теплообменником ;Fuel/primary air(ambient T)- топливо/первичный воздух(окружающая T ;Preheating zone- зона подогрева; Raw material introduction-подача сырья ;Briquettes-брикеты ; Exhaust gas-отходящий газ ;Sintering zone-зона спекания; Preheated air-подогретый воздух ; Cooling zone-зона охлаждения ; Sinter-спекшийся материал

3.2.3.2.1.2 Длинные вращающиеся печи

В длинных вращающихся печах подогрев, раскисление и спекание протекают непосредственно в печи. Это очень важная причина того, что печи этого типа существенно длиннее вращающихся печей с теплообменником. Вращающиеся печи для обжига DBM характеризуются длиной 80-120 и диаметром 2-4 м .

В результате вращения и горизонтального наклона в печи материал перемещается в зону спекания, предварительно подогреваясь и раскисляясь в результате воздействия отходящего газа соответствующего температурного профиля. Процесс спекания протекает в

зоне спекания вращающейся печи при температурах 1600-2200 ^{0}C, при которой получается спеченная магнезия с необходимой плотностью. На выходе из печи продукт передается в барабанный холодильник. Для охлаждения используется вторичный воздух, засасываемый по принципу противотока. Весь подогретый воздух из холодильника затем используется вновь в качестве воздуха для горения. На рис 3.10 проиллюстрирован принцип действия длинной вращающейся печи, используемой при сухом способе получения магнезии.

Охлажденный спеченный продукт конвейером направляется на дальнейшую обработку.

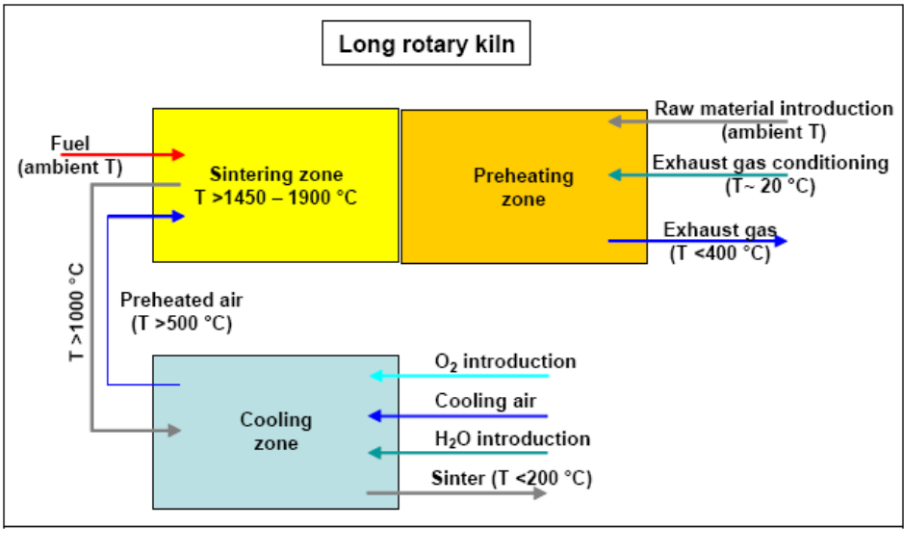

Рис. 3.10 Принцип действия длинной вращающейся печи при производстве магнезии [109, 110, 165]

Long rotary kiln -длинная вращающаяся печь ;Fuel(ambient T)- топливо (окружающая T ;Preheating zone- зона подогрева; Raw material introduction-подача сырья ; Briquettes-брикеты; Exhaust gas conditioning- кондиционирование отходящего газа; Sintering zone-зона спекания ;Preheated air-подогретый воздух ; Cooling zone-зона охлаждения ; Sinter-спекшийся материал

3.2.3.2.2 Шахтные печи

Для производства магнезии можно использовать шахтные печи различной конструкции

3.2.3.2.2.1 Шахтные печи с вращающейся плитой

Приготовленную тонко измельченную смесь огнеупорного материала определенного состава помещают во вращающийся гранулирующий барабан, где при увлажнении получают гранулы диаметром 20-30 мм. Перед обжигом в шахтной печи при температуре около 1750 ^{0}C гранулы подвергают непрерывному процессу сушки. Спеченный продукт выгружают на вращающуюся плиту и до дальнейшей обработки выдерживают в промежуточном складе. Принцип действия шахтной печи при производстве магнезии проиллюстрирован на рис. 3.11

По такой технологии можно обжигать магнезит с размером кусков 20-200 мм.

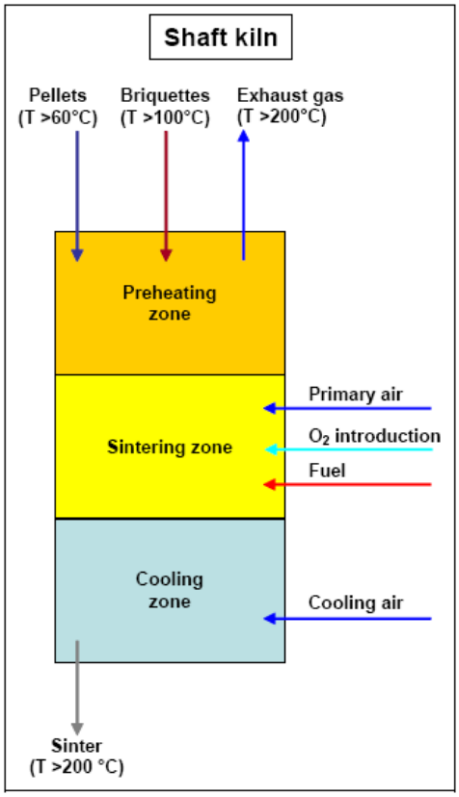

Рис. 3.11 Принцип действия шахтной печи при производстве магнезии [109, 110, 165]

Shaft kiln-шахтная печь ;Pellets-гранулы ;Briquettes-брикеты ;Exhaust gas-отходящий газ;Preheating zone-зона подогрева ;Sintering zone-зона спекания ; Primary air-первичный воздух ; Introduction-подача ; Fuel-топливо; Cooling zone-зона охлаждения; Cooling air-охлаждающий воздух ; Sinter- спекшийся материал

3.2.3.2.2.2 Шахтные печи с вращающейся решеткой

С использованием шахтной печи такой конструкции получают специальный спеченный кирпич. В состав полученного прессованием кирпича входят смесь магнезита и хромовой руды, а в качестве связующего используется вода. Для того, чтобы обеспечить необходимое качество спекания, в таких печах создают температуру 2200 ^{0}С. С этой целью для горения подают обогащенный кислородом воздух. В такой печи вращающаяся разгрузка перемещает компактную стопку кирпичей к выгрузке из печи.

3.2.3.2.2.3 Двухшахтная печь

При использовании печи такой конструкции сырой магнезит помещают в верхней части печи в одну шахту (так называемую шахту подогрева). Здесь магнезит подогревается и раскисляется. После зоны подогрева шахта разделяется на две секции, называемыми две шахты; здесь протекают процессы спекания и охлаждения. После прохождения зоны подогрева сырой магнезит спекают при температурах 1600-2200 ^{0}С. В зонах охлаждения, расположенных в основании двухшахтной печи, спеченная магнезия охлаждается воздухом до температуры менее 200 ^{0}С. Охлажденная спеченная магнезия выгружается из печи. На рис 3 .12 проиллюстрирован принцип действия двухшахтной печи при производстве магнезии.

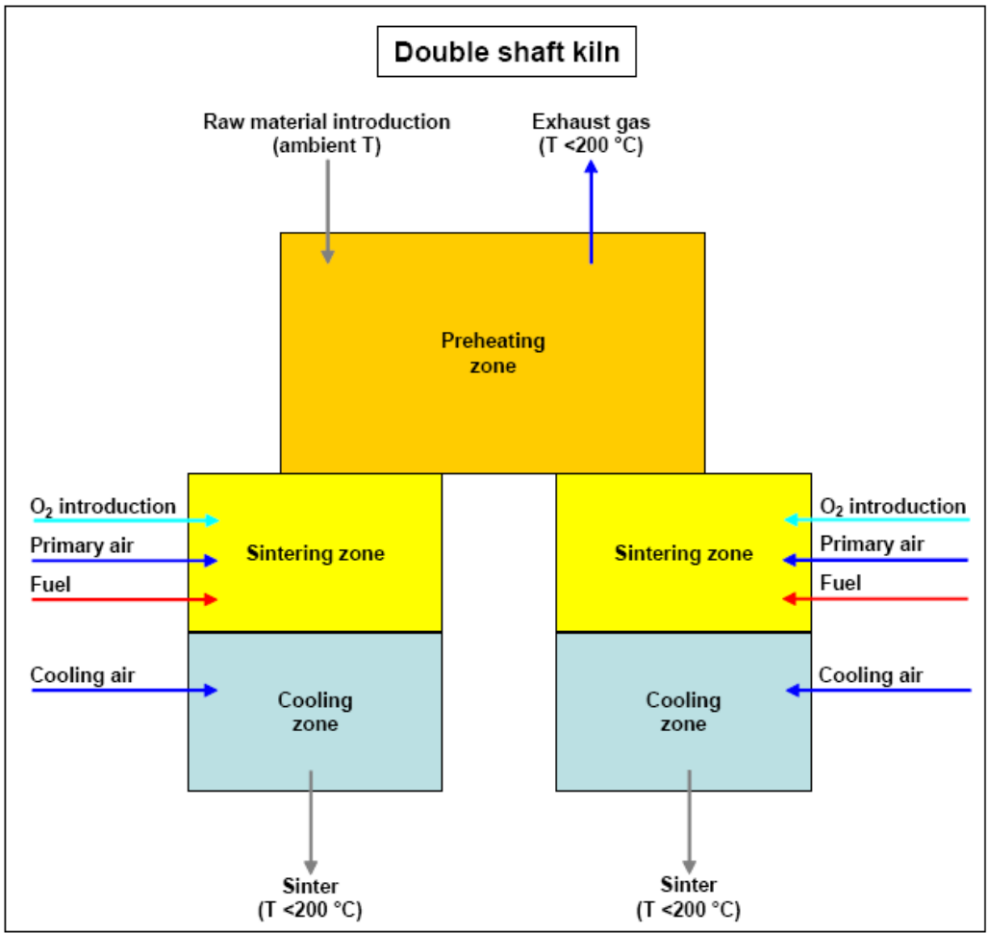

Рис 3.12 Принцип действия двухшахтной печи при производстве магнезии [109, 110, 165]

Double shaft kiln- двухшахтная печь;Raw material introduction-подача сырьевого материала ;ambient-окружающий ;Exhaust gas-отходящий газ ;Preheating zone-зона подогрева ;Sintering zone-зона спекания ; Primary air-первичный воздух ;Fuel-топливо ; Cooling zone- зона охлаждения;Cooling air-охлаждающий воздух ; Sinter- спекшийся материал

2.2.4 Производство плавленой магнезии

Плавленую магнезию получают в электродуговых ванных печах. Печь в принципе представляет собой установленную на тележке платформу с выпускным отверстием в виде усеченного конуса.

Сырьевой материал плавится внутри такой печи с помощью электрической дуги, создаваемой между двумя графитовыми электродами. Процесс плавления происходит в вертикальном направлении от основания к вершине. Никакого разделения массы не происходит. Плавленый материал остается у выпускного отверстия, где происходит его охлаждение. После плавления тележку отодвигают от электродов, и начинается новый цикл. Таким образом в одном продуктовом блоке получается 5-8 т плавленой магнезии. В качестве сырьевого материала используют сырой магнезит, каустическую спеченную или мертво обожженную магнезию, возможно смешивание компонентов. Необходимо отметить, что в ходе процесса охлаждения у граней (в корке) образуются примеси, поэтому наиболее химически чистый материал находится в центре блока.

После охлаждения продуктовый блок опрокидывают, измельчают, а затем часто сортируют вручную. Основным производителем плавленой магнезии является Китай. Очень небольшие производства можно отыскать в странах ЕС. По этой причине в рассматри-

ваемом документе не освещаются детали производства плавленой магнезии [109, 110, 165].

3.3 Существующие уровни потребления и выбросов

Основными воздействиями на окружающую среду, связанными с производством различных видов магнезии, являются потребление энергии и загрязнения воздуха. Процесс обжига магнезии является существенным потребителем энергии и основным источником выбросов. Вторичные процессы - измельчение, а также вспомогательные - дробление, грохочение, транспортирование, складирование и выгрузка - могут также быть существенными.

Следует отметить, что в отличие от других частей настоящего документа в данном разделе, посвященном производству оксиду магния, стандартными для измерения объёма потоков и концентраций, являются приведенные в Словаре параметры:

$м^3$/ч	объём потока ;в отличие от других частей документа, относится к содержанию 10 % (по объёму) кислорода и стандартным условиям
мг/$м^3$	концентрация; относится к концентрации газообразных веществ или смеси веществ в сухом дымовом газе при содержании 10 % (по объёму) кислорода и стандартных условиях
стандартные условия	сухой газ при температуре 273 ^{0}К и давлении 1013 Па

В добавлении необходимо отметить, что пределы концентрацию выбросов рассматривают относительно эталонного содержания 10 % кислорода хотя уровень реальной концентрации кислорода в процессе горения намного меньше 10 %. Ниже приведена формула для расчета концентрации выбросов:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \cdot E_M \text{, где}$$

E_R – концентрация выбросов, относящаяся к уровню кислорода 10 об. %, мг/$нм^3$;

O_p –уровень кислорода в смеси, об. %;

$E_м$ – концентрация выбросов, относящаяся к измеренному уровню кислорода, мг/$нм^3$;

$O_м$ – фактический уровень кислорода, об. %.

Дополнительную полезную для мониторинга информацию можно найти в справочном документе по Основным принципам мониторинга (MON) [151].

3.3.1 Потребление сырьевых материалов (необработанного магнезита) и воды

При высоких температурах магнезит ($MgCO_3$) термически разлагается на магнезию (MgO) и диоксид углерода (CO_2). Принимая во внимание молекулярную массу магнезита (84,31), установим, что образуются следующие количества магнезии и диоксида углерода (см. табл. 3.5).

Таблица 3.5 Количества магнезии и диоксида углерода, образующиеся при разложении магнезита [109, 110, 165]

Материал	Количество			Общее количество (г/моль)
	Mg (г/моль)	C г/моль)	O (г/моль)	
Магнезит ($MgCO_3$)	24,31	12,01	48,00	84,31
Диоксид углерода (CO_2)	-	12,01	32,00	44,01
Магнезия (MgO)	24,31	-	16,00	40,31

Эти данные можно представить в относительных величинах как количество долей/состав магнезита (табл. 3.6).

Таблица 3.6 Выход из магнезита магнезии и диоксида углерода [109, 110, 165]

Материал	Выход из магнезита ($MgCO_3$)
Магнезия (MgO)	47,80
Диоксид углерода (CO_2)	52,20
Итого	100,00

В процессе разложения 1 кг магнезита образуется около 522 г диоксида углерода и 478 г магнезии. Это означает ,что для производства 1 т магнезии (MgO) в результате разложения карбоната образуется 1,092 т диоксида углерода. Однако это теоретические выход, т.к. магнезит содержит таеие различные примеси как SiO_2, CaO, Fe_2O_3. Следует отметить, что при производстве 1 т магнезии требуется 2,1-2,4 т магнезитовой руды в зависимости от её качества, требований к продукции и типа используемой печи [109, 110, 165, 168].

Расход воды

В рассматриваемом процессе расходуется очень небольшие количества воды, которая используется для увлажнения сырья (магнезита), для того, чтобы удалить примеси и охладить полученную магнезию в зоне охлаждения печи, а также в процессе отделения тяжелого шлама. Имеется несколько операций, связанных с системами промывки отходящих газов, водой промывают газообразные выбросы. Расход воды составляет 5-12 $м^3$/т магнезии [109, 110, 165, 168].

3.3.2 Энергопотребление

Получение магнезии, главным образом DBM, по технологии сухого способа связано с интенсивным потреблением энергии, это обусловлено применением очень высоких температур.

Магнезит ($MgCO_3$) термически разлагается на магнезию (MgO) и диоксид углерода (CO_2). Это высокоэндотермический процесс с энтальпией 2803 МДж/т MgO. Разложение магнезита начинается при 550 ^{0}C и завершается (если он содержит значительные количества других карбонатов) при температуре, не превышающей 800 ^{0}C.

В процессе обжига используют природный газ, нефтяной кокс и топливный мазут. В табл. 3.7 показан расход топлива на производство 1т спеченной магнезии при процессе прямого нагрева. Наибольшие значения в этой таблице относятся к производству мертво обожженной магнезии.

Таблица 3.7 Расход топлива, необходимого для получения 1 т магнезии [109, 110, 165]

Топливо	Минимально	Максимально
Природный газ	176 $нм^3$/т	310 $нм^3$/т
Нефтяной кокс	240 кг/т	393 кг/т
Топливный мазут	190 кг/т	330кг/т

Потребность в тепловой энергии для производства магнезии составляет 6-12 ГДЖ/т MgO и зависит от ряда таких факторов, как характеристики и влажность (влажный или сухой) сырьевого магнезита.

Для того чтобы достичь очень высокой температуры горения, превышающей 2000 ^{0}C, используется кислород. Расход кислорода составляет 15-150 $нм^3$/ т обожженной магнезии. При этом необходимо отметить, что для производства специальных видов спеченной магнезии, характеризующейся очень высокой степенью чистоты и крупными кристаллами, потребность в кислороде превышает 150 $нм^3$/т.

Для обслуживания механического оборудования - систем вентиляции, процесса брикетирования, насосов - используется электроэнергия. Её обычно покупают у провайдеров (из

сети высокого напряжения). Расход электроэнергии в большой степени зависит от установленного оборудования и составляет обычно 75-180 кВтч/т (270-648 МДж/т) спеченной магнезии. При производстве каустической магнезии примерно такой же расход электроэнергии.

Для производства плавленой магнезии в электродуговых печах требуется значительно больше (3500 - 4500 кВтч/т) электроэнергии. При этом потребность в электроэнергии для производства очень чистой магнезии может превысить эти значения в два и более раз [109, 165].

3.3.3 Выбросы

При сухом способе производства оксида магния/магнезии происходит загрязнение выбросами воздуха, воды, почвы (производственные потери) и возникает шум . В настоящем разделе рассматриваются пределы выбросов загрязняющих веществ в воздух при сухом способе производства оксида магния/магнезии.

3.3.3.1 Выбросы в воздух

При процессе обжига в воздух происходят выбросы пыли, NO_x, SO_x и CO. Они частично поступают из магнезита, а частично из используемого топлива.

Из-за высокой температуры обжига в печи SO_2 из топлива не связывается продукцией. Однако в том случае, если в печи для обжига используют меньшую температуру, SO_2 только частично поглощается продуктом обжига и связывается образующейся при обжиге пылью. Выбросы SO_2 из сырья (магнезита) связаны с наличием в нем серы. Её в принципе мало, как мало в большинстве сырьевых материалов. Однако в отдельных случаях выброс SO_2 из сырьевых материалов может составить 50 % суммарных выбросов SO_2. Кроме того, содержание серы в сырьевых материалах связано с размером кусков сырья. В табл. 3.8 приведены примеры соотношения гранулометрии и содержанием в сырье серы.

Таблица 3.8 Примеры соотношения гранулометрии и содержанием в сырье серы [110, 168]

Размер частиц сырья, мм	Содержание серы в сырье, %
> 1	0,04
0,02 - 1	0,19
< 0,02	1,80

Сопоставление различных источников энергии, исходя из соотношения евро/ГДж, а также содержания в этом топливе серы, приведено в табл. 3.13. Наибольшее количество серы после каменного угля и антрацита содержит нефтяной кокс.

Так называемый «процесс выброса CO_2» является следствием разложения магнезита ($MgCO_3$) на магнезию (MgO) и около 1 т CO_2/т магнезии. Кроме того, выбросы CO_2 связаны с процессом горения топлива, например, природного топлива и нефтяного кокса. Горение топлива вносит в выбросы CO_2 около 0,4 – 1,3 т CO_2/т магнезии.

Выбросы в воздух происходят не только в процессе горения топлива, но и на других этапах производственного процесса:

- при хранение и транспортирование сырья, топлива или готовой продукции могут увеличиться выбросы пыли
- при процессах дробления/ измельчения могут увеличиться выбросы пыли.

Выбросы диффузной пыли возникают главным образом при хранении и транспортировании сырьевых материалов и топлива, а также в результате работы производственного транспорта. Выброс пыли при упаковке и отгрузке продукции также весьма существенный.

Существует простая линейная схема и организационные мероприятия, обеспечивающие минимизацию источников диффузной пыли [67, 109, 110, 165].

В табл. 3.9 приведены величины выбросов из образующихся в процессе спекания спеченной магнезии при объеме потока газов 4000 - 12000 $м^3$/т.

Таблица 3.9 Концентрация выбросов при производстве оксида магния в странах ЕС-27

Составляющая выбросов	Единица измерения	Диапазон концентраций [1)]	Максимальная концентрация [2)]
Пыль	$мг/нм^3$	20-118	400
NO_x	$мг/нм^3$	650 - 2500[5)]	5000[5)]
SO_2	$мг/нм^3$	10[4)] - 3350[3)]	5000[3)]
CO	$мг/нм^3$	33 - 1000	1323
CO_2	$мг/нм^3$	165 - 350	360

[1)]Концентрации по результатам длительных измерений
[2)]пик в коротком интервале
[3)]Наибольшие значения, соответствующие использованию богатого SO_2 топлива
[4)]Применение природного газа
[5)]Наибольший уровень при производстве мертво обожженной магнезии

В зависимости от вида используемого топлива до 50 % диоксида серы может образовываться из топлива (см. также раздел 3.4.5 и рис. 3.13 о содержании серы в топливе). При производстве каустической магнезии во вращающейся печи около 40 – 50 % образующегося из топлива диоксида серы удаляется главным образом в фильтре с пылью. Сообщают, что впрыскивание в поток дымовых газов реактивной MgO снижает выброс SO_2 менее 1500 $мг/нм^3$ при начальной концентрации 3000 $мг/нм^3$ [168, 182].

3.3.3.2 Производственные потери

При производстве различных видов магнезии производственные потери/отходы представлены пылью карбоната магния, собираемой при очистке отходящих газов в осадителе пыли. В пыле содержатся карбонат магния и различные количества каустической и обожженной магнезии. Упаковочные отходы (пластик, дерево, металл, бумага и т.д.), образуются на стадии упаковки.

Некоторые виды пыли можно регенерировать и вновь использовать в производственном процессе. Более того, собранную пыль можно использовать для защиты окружающей среды, например, при обработке сбросов промышленных сточных вод и для захоронения отходов металлов. Технология, используемая для обработки пыли и других отходов, обеспечивает как их повторное использование в производстве товарной продукции, так и вторичное удаление.

Используемые при промывке промывные воды для удаления твердых материалов направляют на седиментацию. Выделенные таким образом твердые включения для дальнейшего возможного использования хранят на промежуточном складе, а воду возвращают в систему вновь.

Образовавшийся при влажной десульфуризации шлам (метод осаждения и/или фильтрации; имеется одна установка в Австрии) используют по другому назначению.

3.3.3.3. Сбросы в воду

Воду используют на различных стадиях рассматриваемого процесса. Воду для промывки сырья (магнезита) и процесса удаления осажденного в фильтре материала после декантации и осветления шлама вновь используют для тех же целей.

Кроме того, воду используют для охлаждения продукции в зоне охлаждения печи. Однако эта вода при высокотемпературном процессе испаряется. Воду используют и в некоторых операциях в системе промывки дымовых газов для их очистки от выбросов.

При производстве магнезии по технологии сухого способа не образуется сброса водных отходов. Исключение составляет одна установка в Австрии, где осуществляется десульфуризация дымовых газов. Водные отходы подвергают осаждению и/или фильтрации для отделения сульфит/сульфатного шлама, используемого по другому назначению.

3.3.3.4 Шум

Добыча и обработка сырья, а также процесс производства магнезии неизбежно сопряжены с появлением шумных операций. Эксплуатация большого тяжелого оборудования и вентиляторов может быть причиной усиления шума и/или вибрации.

Для снижения уровня шума используют естественные препятствия для его распространения-здания, стены, деревья и кусты. Необходимо при проектировании предприятий выполнять требования по снижению шума стандартов и местного законодательства.

3.3.4 Мониторинг

Рекомендуется при контроле процесса в печи осуществлять измерение следующих параметров:

- температуры
- давления
- содержания O_2
- содержания CO.

Могут быть полезны дополнительные измерения следующих параметров:

- содержания NO_x
- SO_2
- пыли.

Для установления и количественной оценки выбросов рекомендуется периодическое измерение следующих параметров:

- содержание NO_x
- содержание пыли
- SO_2
- CO_2 (расчетом).

Дополнительную информацию по мониторингу можно найти в [151].

3.4 Методы, рассматриваемые в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ)

В данном разделе приступают к рассмотрению общего подхода к выбору возможности достижения высокого уровня защиты окружающей среды в отраслях промышленности, рассматриваемых в настоящем документе. Рассматриваются системы экологического менеджмента, комплексные методы и соотношения подхода и технического решения «на конце трубы», но при поиске оптимальных результатов отмечается взаимное наложение этих трех подходов.

Помимо повторного использования материалов и энергии рассматриваются проблемы профилактики, контроля, приемы рециклинга и минимизации.

Для достижения целей, сформулированных в Директиве IPPC, методы подхода и технические решение можно рассматривать самостоятельно или в сочетании. В Приложении

IV к данной Директиве рассматривается перечень общих соображений, которые необходимо принимать во внимание при выборе наилучшей доступной технологии и сочетания метода подхода и технического решения, отвечающих одному или нескольким из этих соображений. Далее, если возможно, для обеспечения сопоставления данных и целей, сформулированных в рассматриваемой Директиве, в сочетаниях подхода и выбора технического решения используют стандартные конструкции.

Содержанием этого раздела является не исчерпывающий перечень сочетаний метода подхода и технического решения, или других существующих или разработанных в дальнейшем решений, которые могут полностью укладываться в рамки IPPC и НДТ.

Стандартная структура используется для того, чтобы подчеркнуть каждое представленное в табл. 3.10 сочетание метода и технического решения. Так как границы упоминаемых в этой таблице элементов могут в какой-то мере накладываться друг на друга, она имеет гибкую структуру, отвечающую конкретным обстоятельствам

Таблица 3.10 Информационное содержание каждого из рассмотренных в данном разделе сочетаний метода подхода и используемого технического решения

Вид рассмотренной информации	Содержание информации
Описание	Техническое описание метода подхода и технического решения(включая чертежи и схемы)
Эффекты для окружающей среды	Основные эффекты для окружающей среды(снижение затрат энергии, воды, сырьевых материалов, увеличение выпуска продукции, эффективности использования энергии метода и технического решения)
Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды	Взаимодействие различных методов и технических решений по защите окружающей среды. Сопоставление их эффектов для окружающей среды в целом
Эксплуатационные показатели	Данные о потреблении и выбросах, предприятия, использующего данную методику и техническое решение(условия и методы мониторинга).Дополнительная информация ,касающаяся режимов, обслуживания и результатов контроля
Пригодность	Отмечаются виды установок, в которых могут быть использованы данные методики и технические решения, фиксируется возраст, размер установки, вид продукции, уже используемые методики и технические решения
Экономический эффект	Информация о ценах(инвестиции и эксплуатационные расходы), возможном снижении затрат сырья, энергии и образования отходов,
Движущая сила для внедрения	Местные условия и требования могут способствовать внедрению данного метода и технического решения. Информация о других(помимо защиты окружающей среды)причинах внедрения(рост производительности, безопасность)
Примеры установок	Информация об установке, где используется данный метод и техническое решение
Использованная литература	Литературные или другие источники, использованные при написании данного раздела и содержащие детали, касающиеся данного метода и технического решения

Затраты на проведение технических решений, связанных с удалением загрязнений, необходимо оценивать с учетом типа печи, размера оборудования, эффективности технических решений и индивидуальных особенностей применения.

3.4.1 Общие соображения относительно потребности в сырье

Повторное использование тонкозернистого материала (в шахтных или в сочетании их с вращающимися печами) и снижение производственных потерь и/или отходов снижает суммарное потребление сырьевых материалов.

3.4.2 Общие соображения относительно потребности в воде

Промывные воды, используемые для промывки, проходят процесс седиментации, при котором отделяются твердые вещества. А воду используют повторно, возвращая в водопровод чистой воды.

3.4.3 Снижение расхода энергии (энергетическая эффективность)

Описание

Совершенствование конструкции печи, оптимизация технологического процесса и самый высокий уровень утилизации и повторного использование избыточного тепла печи и холодильника может снизить потребление энергии и топлива. Кроме того, применение кислорода (обогащенного кислородом воздуха для горения) в процессе сжигания топлива может повысить эффективность процесса обжига и, таким образом, существенно поднять эффективность печи. Все это сочетается со снижением расхода воздуха и за счет этого снижением балласта азота в печи. Таким путем можно устойчиво снизить потребление энергии.

Для того чтобы минимизировать расход энергии топлива, тепло отходящих газов используется для предварительного подогрева магнезита. Тепловые потери печи можно использовать для сушки топлива, сырья и некоторых упаковочных материалов.

Минимизацию расхода электроэнергии достигают применением основного оборудования с высокой энергетической эффективностью.

Эффект для окружающей среды

Снижение энергопотребления и повышение энергетической эффективности. Дополнительный эффект заключается в том, что при более эффективном процессе снижаются выбросы CO_2 из топлива.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Увеличение выбросов NO_x может быть обусловлено более высокой температурой факела при процессе обжига.

Эксплуатационные показатели

Сообщают об удельном расходе энергии в интервале 6 - 12 ГДж/т . Теоретическая энтальпия реакции этого высокоэндотермического процесса составляет 2803 МДж/кг (см. раздел 3.3.2).

Пригодность

При производстве магнезии в принципе достижимо снижение энергопотребления.

Экономический эффект

- Стоимость энергии может составить 35-30 % общей себестоимости.
- Снижение энергопотребления может снизить себестоимость и выбросы CO_2.
- Использование кислорода следует рассматривать в общем балансе расходов и энергии.

Движущая сила для внедрения

- Требования законодательства.
- Снижение энергопотребления и расходов.
- Снижение выбросов CO_2.

- Снижение себестоимости.

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы в Австрии и в Испании и в странах ЕС-27

В этом контексте полезную информацию можно почерпнуть в документе, освещающем энергоэффективные технологии (ENE) [67, 109, 110, 165, 168, 182].

3.4.4 Оптимизация процесса контроля

Описание

Плавный и устойчивый процесс в печи, работающей с близким к стехеометрическому расходом воздуха, выгоден как с точки зрения печных выбросов, так и энергопотребления. Как правило, для обеспечения требуемого качества продукции и оптимальных условий горения избыток кислорода поддерживают на уровне 1 – 3 %, что можно достичь оптимизацией процесса контроля. Процесс обжига оптимизируют для того, чтобы снизить расход тепла и повысить/сохранить качество спеченной, каустической обожженной или плавленой магнезии и снизить удельные расход энергии и выбросы. В общем печи оснащают системами контроля процесса для мониторинга с центрального пульта. Непрерывно фиксируются следующие некоторые параметры процесса: расход энергии, температура и иногда NO_x.

Вторичным эффектом такой оптимизации может быть снижение выбросов CO, NO_x, SO_2 и пыли.

Так как в одной печи получают несколько разных продуктов, эксплуатационные характеристики печи следует связывать с этими продуктами. В зависимости от нагрузки и качества продукции эксплуатационные характеристики печи меняются в широком диапазоне.

Эффект для окружающей среды

Может быть достигнуто снижение уровня таких выбросов как CO, NO_x, SO_2 и пыли.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет информации.

Эксплуатационные показатели

Не представлено данных.

Пригодность

Оптимизация процесса контроля применима ко всем типам печей, используемых при производстве магнезии. Однако для этого может понадобиться совершенная система контроля.

Экономический эффект

Для установки системы комплексного контроля процесса спекания или прокаливания необходимы инвестиции около 1 млн. евро.

Движущая сила для внедрения

Требования законодательства.

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы в Австрии и в Испании и в странах ЕС-27

[109, 110, 165].

3.4.5 Выбор топлива

Описание и эксплуатационные показатели

Производство магнезии по технологии сухого способа связано с повышенным расходом энергии (см. раздел 3.3.2). В качестве топлива в странах ЕС используется природный газ, нефтяной кокс и тяжелый топливный мазут. При этом в процессе обжига используют уголь (антрацит и лигнит).

Тщательный выбор и контроль поступающих в печь веществ необходимы и могут влиять на снижение выбросов, в частности SO_2, В том случае, если цена разумна и топливо доступно, следует отдавать предпочтение тем видам топлива, в которых содержится меньше серы.

Эффект для окружающей среды

Снижение выбросов SO_2.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

При использовании в качестве топлива для обжига нефтяного кокса и каменного угля может увеличиться по сравнению с использованием природного газа или топливного мазута выброс SO_2 (см. рис. 3.13). При использовании природного газа вследствие более высокой температуры пламени образуется большее количество выбросов NO_x; выбросы CO_2 ниже вследствие того, что в природном газе меньше по сравнению с коксом и углем отношение C : O.

Эксплуатационные показатели

Затраты на энергию составляют 35 – 40 % себестоимости продукции.

Пригодность

Любое топливо, которое можно использовать в печах, можно использовать для производства магнезии. Однако ввиду того, что некоторые виды топлива, как например газ, могут быть недоступны во всех регионах, эти технические решения можно использовать только там, где возможно. Печи следует оснастить оборудованием, приспособленным для конкретного вида топлива. Однако нефтяной кокс нельзя использовать в шахтных печах с вращающейся плитой и вращающейся решеткой (см. разделы 3.2.3.2.1 и 3.2.3.2.2).

Из-за опасения, что в продукцию попадут примеси, в 2007 г. отходы не использовали в качестве топлива. Продукция должна быть чистой и не содержать примесей. Однако в будущем и в результате применения новой технологии сжигания отходов в качестве топлива при обжиге определенных видов магнезии предполагается использовать в качестве топлива отдельные виды отходов, например, пластики и древесину . В этой связи аспекты общего контроля и контроля качества можно найти в посвященных соответственно цементной и известковой разделах 1.2.4 и 2.2.5 настоящего документа.

Экономический эффект

На рис. 3.13 приведены результаты сопоставления удельных (евро/ГДж) расходов при использовании различных источников энергии и проиллюстрировано содержание в них серы. Наибольшее количество серы содержит нефтяной кокс, далее следуют тяжелый топливный мазут, каменный уголь и антрацит.

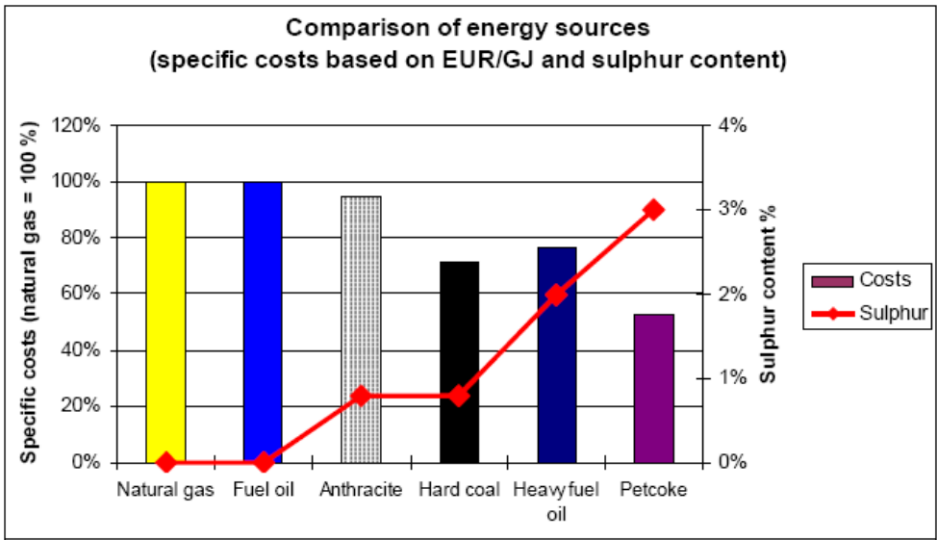

Рис. 3.13 Сопоставление различных видов топлива по величине удельных затрат и содержанию серы [130, 168]

Comparison of energy sources (specific costs based on EUR/GJ and sulphur content)-сопоставление источников энергии(удельные затраты из расчета евро/ГДж и содержания серы ;Specific costs(natural gas=100%)-удельные затраты(природный газ=100%) ;Sulpher content %-содержание серы % ;Natural gas- природный газ ; Fuel oil-топливный мазут ;Anthracite- антрацит; Hard coal- каменный уголь; Heavy fuel oil- тяжелый топливный мазут; Pet coke- нефтяной кокс

Существует хорошее соотношение между эффективностью и стоимостью нефтяного кокса (см. рис. 3.13). Однако затраты на энергию достигают высокого уровня 35 – 40 % и необходимо рассматривать и экономический фактор

Движущая сила для внедрения

- Требования законодательства
- Снижение выбросов SO_2

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы в Австрии и в Испании и в странах ЕС-27

[109, 110, 165, 168, 182].

3.4.6 Выбросы пыли

3.4.6.1 Технические решения для операций, связанных с пылевыделением

Описание и эффект для окружающей среды

В результате проведения операций по хранению и транспортированию сырья и топлива и в результате действия заводского транспорта неорганизованный выброс пыли растет. Выбросы, возникающие при упаковке и отгрузке продукции, могут быть значительными. Для снижения количества возможных источников диффузной пыли можно использовать простые линейные решения и организационные технические решения.

Ниже приведены некоторые технические решения, которые можно использовать по отдельности и в сочетании (см. раздел 3.3.3.1):

- хорошая уборка помещений и дорог и использование надлежащей комплексной изоляции;
- увлажнение штабелей сырья;
- закрытие/герметизация переделов, связанных с дроблением и измельчением;
- закрытие конвейеров и элеваторов, которые следует проектировать как закрытые системы;

- силосы для хранения соответствующей мощности, оборудованные фильтрами для запыленного воздуха при операциях заполнения силосов;
- предпочтительно использовать пневмотранспортное оборудование;
- устранение утечек воздуха и просыпей материала;
- использование автоматизированных систем контроля;
- осуществление длительной безаварийной работы.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Рост энергопотребления в результате использования фильтров
- В процессе обслуживания оборудования могут возникнуть дополнительные отходы
- В результате закрытия оборудования возможно ослабление шума

Эксплуатационные показатели

Отсутствуют доступные данные.

Пригодность

Эти технические решения можно в принципе использовать при производстве магнезии.

Экономический эффект

В зависимости от конкретных обстоятельств, связанных с использованием технического решения.

Движущая сила для внедрения

- Требования законодательства.
- Требования техники безопасности.

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы в Австрии и в Испании и в странах ЕС-27

[109, 110, 165]

3.4.6.2 Сокращение источников выброса пыли

Пыль выделяется в процессе обжига, а также при складировании и транспортировании (например, конвейерами и элеваторами) сырьевых материалов и топлива, а также при дроблении и измельчении. Ниже приведенные удаляющие пыль устройства можно использовать в отдельности либо в сочетании:

- Электростатические осадители;
- Циклоны;
- Влажные отделители пыли;
- Рукавные фильтры.

При операциях грохочения, дробления и измельчения для сбора продукции и очистки транспортирующего воздуха используют рукавные фильтры.

При установке обеспыливающего оборудования на печах для производства магнезии необходимо учитывать, что температура их отходящих газов относительно высока.

Некоторые из этих печей оборудованы электростатическими осадителем и/или сочетанием циклона и электростатическим осадителем, или с учетом относительно высоких температур отходящих газов циклоном и влажным отделителем пыли. Кроме того, используют рукавные фильтры, которые очень эффективно снижают выбросы пыли. Однако для использования рукавных фильтров очень остро встает проблема высоких температур дымовых газов, которая в зависимости от используемой в таких фильтрах ткани может оказаться критической: ткань может прогореть.

3.4.6.2.1 Электростатические осадители

Описание и эффект для окружающей среды

Электростатические осадители можно использовать для удаления пыли из отходящих газов при температуре от точки росы до 370-400 ^{0}C. Ввиду опасности взрыва следует избегать проскока CO. Поэтому для обеспечения безопасности и контроля процесса концентрацию CO непрерывно измеряют. Частоту проскоков CO можно снизить использованием современных систем контроля процесса, оснащенных быстродействующими измерительными и регулирующими устройствами. Информацию и руководство относительно контроля проскока CO можно найти в главе этого документа (разделы 1.4.5.3 и 4.2.6) , посвященной цементному производству.

Более техническую информацию и объяснение работы электростатических осадителей можно найти в цементной главе (раздел 1.4.4.3.1) и в главе, посвященной извести (раздел 2.4.5.3.1). Однако эксплуатационные показатели электростатических осадителей для производства магнезии приводятся ниже.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Возникает опасность взрыва особенно при использовании сухих систем электростатических осадителей.
- При использовании электростатических осадителей возрастает расход электроэнергии по сравнению, например, с использованием циклонов.
- В процессе обслуживания могут образоваться дополнительные отходы

Эксплуатационные показатели

Температура дымовых газов на входе в электростатический осадитель примерно 400 ^{0}C; наблюдается выброс пыли 75 мг/нм^3, непрерывно фиксируемый как среднее значение в течение недели. Однако электростатические осадители в состоянии достичь уровня выбросов менее 10 мг/нм^3.

Пригодность

Элекростатические осадители используют главным образом на вращающихся печах.

Их можно применять в температурном диапазоне от точки росы до 370-400 ^{0}C.

Экономический эффект

Следует иметь в виду, что эксплуатация электростатических осадителей связана с относительно высокими затратами.

Движущая сила для внедрения

- Требования законодательства
- Требования технологического процесса

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы стран ЕС-27

[67, 109, 110, 165, 168, 182]

3.4.6.2.2 Центробежные сепараторы/циклоны

Описание и эффект для окружающей среды

В циклонах для выделения частиц из газового потока используют центробежную силу. Это надежное оборудование, работающее с низкими энергозатратами в широком температурном диапазоне [86].

В центробежном сепараторе для того, что отделить от потока отходящих газов частицы пыли, на них воздействуют центробежной силой, направленной к наружней стенки, а затем отделяют через расположенное в дне циклона отверстие. Центробежные силы могут быть созданы в результате придания газовому потоку спирального вращения вниз по ци-

линдрическому сосуду (циклонные сепараторы) или в результате вращения установленного внутри сепаратора рабочего органа (механические центробежные осадители).

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- При работе центробежные сепараторы/циклоны являются источниками значительного шума
- В процессе обслуживания могут возникнуть дополнительные отходы

Эксплуатационные показатели

В других секторах промышленности, например, в известковом производстве, центробежные сепараторы/циклоны используют в качестве предосадителей/сепараторов продукции. С их помощью возможно снизить выброс пыли до величины меньшей 150 мг/нм^3 (см. раздел 2.4.5.3.4). В цементном производстве циклоны сочетают с теплообменником и с тканевыми фильтрами для удаления пыли, т.е. для охлаждения отходящих газов. Циклоны могут снижать концентрацию пыли на 70 %. По результатам, достигнутым на южноафриканском цементном заводе, при сочетании с воздушным теплообменником и с тканевым фильтром достигается эффективность очистки 99,99 % при низком (5-7 мг/нм^3) выбросе пыли (см. главу о цементе, раздел 1.4.4.3.2).

Центробежные осадители характеризуются большей эффективностью при высокой пылевой нагрузке, причем их нельзя заблокировать.

Пригодность

Центробежные сепараторы/циклоны неэффективны против мелкодисперсной пыли. Вследствие определенных системных особенностей циклоны обычно используют для предварительной сепарации грубодисперсной пыли и отходящих газов.

Экономический эффект

Центробежные сепараторы/циклоны относительно недороги и просты в эксплуатации.

Движущая сила для внедрения

- Требования законодательства
- Требования технологического процесса

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы стран Австрии, Испании и ЕС-27

[86, 110, 165, 168, 182]

3.4.6.2.3 Влажные отделители пыли

С помощью влажных отделителей пыль удаляется из потока отходящих газов. Влажные отделители пыли (также называемые скрубберами) по конструкции и условиям эксплуатации бывают различного вида, например типа Вентури. Этот вариант влажного отделителя пыли имеет в производстве магнезии целый ряд таких применений, как использование для прохожения газа через самые узкие секции трубки Вентури, т.н. «горлышко Вентури», где скорость газа может достичь 60 - 120 м/с. Промывные жидкости, подаваемые в горлышко трубки Вентури, рассеиваются в туман из очень мелких капелек и интенсивно смешивается с газом. Частицы выделяются на капельки воды, становятся тяжелее и могут быть удалены с помощью сепаратора капель, установленного во влажном отделителе Вентури.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

С помощью влажных отделителей загрязняющие вещества из воздуха передаются в воду, и необходима установка дополнительного оборудования для очистки влажного газа, при этом также возможен дополнительный расход энергии.

Эксплуатационные показатели

При эффективной эксплуатации современных многокаскадных влажных скрубберов можно достичь концентрации пыли в газах между 10 и 20 мг/нм^3 (см. раздел 2.4.5.3.3 в главе об извести).

Пригодность

Влажный отделитель пыли Вентури удаляет из потока отходящих газов пыль, летучие вещества, HCl и SO_2. Применение этой техники не связано с ущербом и с побочными эффектами.

Экономический эффект

В связи с эксплуатационными расходами необходимо учитывать скрубберную жидкость и процесс очистки жидких отходов.

Движущая сила для внедрения

- Требования законодательства
- Требования технологического процесса

Примеры предприятий и использованная литература

Два завод ЕС-27

[109, 110, 165, 168]

3.4.6.2.4 Рукавные фильтры

Описание и эффект для окружающей среды

В рукавных фильтрах отходящие газы проходят фильтрующий рукав и частицы пыли оседают на его поверхность в виде фильтровального сухаря. Тканевые фильтры обеспечивают высокую степень удаления пыли, составляющую в зависимости от размера частиц, свыше 98 и до 99 %. Такое оборудование обеспечивает наибольшую эффективность сбора пыли по сравнению с другим предназначенным для той цели оборудованием, используемом при производстве магнезии. Однако ввиду повышенной температуры отходящих печных газов в этих фильтрах следует использовать специальные приспособленные к высоким температурам ткани.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Эксплуатация рукавных фильтров может оказаться причиной шума, особенно при регенерации поверхности ткани с помощью пульсирующего давления воздуха. Кроме того эксплуатация рукавных фильтров сопряжена с затратами электроэнергии для преодоления сопротивления воздуха. При их эксплуатации возможно образование дополнительных отходов.

Эксплуатационные показатели

Рукавные фильтры относятся к различным видам тканых фильтров, некоторые из которых могут эксплуатироваться и устойчивы при достаточно высокой температуре. Информацию о применении различных видов тканей можно найти в разделе 1.4.4.3.2 цементной главы.

Кроме удаления пыли в печном процессе, выброса пыли меньше 5-10 мг/нм^3 можно достичь при использовании рукавных фильтров на других переделах. В случае хорошо спроектированного, работающего и обслуживаемого тканевого фильтра (непрерывные обеспыливающие фильтровальные рукава) в известковом производстве достигается выброс пыли менее 10 мг/нм^3. Степень удаления пыли может оказаться выше 99,9 %, а выброс менее 5 мг/нм^3 (сухой газ, 273 К, 10 % O_2) (цементное производство, см. раздел 1.4.4.3.2).

Более того, сообщают, что с помощью рукавных фильтров при производстве магнезии достигнут выброс из печи пыли менее 20 мг/нм^3 [110].

Пригодность

Рукавные фильтры можно в принципе использовать для удаления пыли на всем оборудовании, используемом для производства магнезии, а особенно при пыльных операциях грохочения, дробления и измельчения. Рукавные фильтры можно использовать для очистки отходящих газов с температурой от точки росы до 280 ^{0}C.

Ввиду того, что печные отходящие газы производства обожженной каустической и мертво обожженной магнезии обладают температурой 250-400 ^{0}C, характеризуются большим объёмом и обладают корродирующим воздействием, следует использовать рукавные фильтры со специальной фильтровальной тканью. Однако опыт производства мертво обожженной магнезии показал, что отсутствует подходящий фильтровальный материал для очистки отходящих газов с температурой около 400 ^{0}C.

В качестве фильтровального материала при температуре до 250 ^{0}C используют тефлон, который характеризуется устойчивостью к воздействию кислот и щелочей и решает массу связанных с коррозией проблем [110].

Экономический эффект

- По сравнению с другими фильтровальвальными материалами инвестиции в фильтровальные материалы, устойчивые к воздействию высоких температур отходящих газов, относительно высоки.
- Ввиду того, что эксплуатация тканевых фильтров сопряжена с преодолением высокого сопротивления, их эксплуатация дороже, чем электростатического осадителя.
- Информацию о техническом применении и ценах различных тканевых фильтров можно найти в разделе 1.4.4.3.2 главы о цементе.

Движущая сила для внедрения

Требования законодательства

Примеры предприятий и использованная литература

Три завода ЕС-27.

[109, 110, 165, 168, 182]

3.4.7 Газообразные соединения

3.4.7.1 Снижение выбросов NO_x

Описание

Существенное влияние на выброс NO_x оказывает температура обжига, которую необходимо обеспечить для осуществления процесса обжига магнезии. Она оказывает непосредственное влияние на качество спеченной/мертво обожженной магнезии. Эта температура обжига в целом очень высока по сравнению с температурами в других аналогичных производствах. Однако температура обжига меняется в зависимости от вида продукции. Поэтому характеристики, принятые для изготовления продукции и прямая связь качества продукции и температуры обжига не позволяют снижать температуру обжига.

Это является источником формирования NO_x. Термический NO_x образуется при взаимодействии между N_2 и O_2 воздуха для горения. Термический NO_x формируется при температурах выше 1000 ^{0}C, т.е. в зоне обжига печи, где температуры достаточно высоки. Количество образующегося термического NO_x увеличивается с ростом температуры и ростом содержания кислорода в зоне обжига.

Для снижения выхода NO_x применяют различные технические решения, которые подразделяют на первичные и вторичные или используют их сочетание. Первичные решения направлены на снижение формирования, а вторичные - на разрушение NO_x и восстановление его до N_2.

Первичные технические решения встроены в процесс и в частности подразумевают:

- оптимизацию процесса;
- совершенствование технологии обжига;
- ступенчатое горение/подача воздуха;
- проектирование горелки.

В 2007 г. при производстве оксида магния не применялось ступенчатое сжигание топлива.

Вторичные мероприятия по снижению NO_x сводятся к следующему:

- осуществление селективного некаталитического восстановления (SNCR);
- осуществление селективного каталитического восстановления (SCR).

В 2007 г. никакие вторичные мероприятия по снижению выброса NO_x в производстве оксида магния не применяли.

Эффект для окружающей среды

Снижение выбросов NO_x.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Как показано в разделах 1.4.5.1.7 и 2.4.6.1.4 при решении использовать SNCR следует быть готовым к проскоку аммиака. Взаимосвязь температуры, проскока NH_3 и снижения выброса NO_x показана на рис. 2.50 (см. раздел 2.4.6.1.4 главы об извести) [46]. Однако в 2008 г. технология SNCR не использовалась при производстве магнезии.

Эксплуатационные показатели

См. раздел 3.3.3.1 и табл. 3.9 . Сообщается, что с помощью только первичных мероприятий снижение выбросов NO_x в 2006 г. составило 650-2500 мг/нм^3. Однако большие выбросы связаны с большими температурами при производстве DBM магнезии.

Пригодность

Первичные мероприятия

Первичные мероприятия в принципе пригодны для большинства печей, используемых при производстве магнезии. Однако некоторые используемые в других отраслях производства первичные мероприятия, такие, как горелки с пониженным выходом NO_x и охлаждение факела, нельзя осуществить при производстве магнезии. Горелки с пониженным выходом NO_x нельзя применить из-за высокой температуры, необходимой для получения DBM. Такой тип горелок применяют при максимальной температуре 1600 ^{0}C, а температура обжига DBM достигает 2200 ^{0}C.

Из-за такой высокой температуры невозможно также и охлаждение факела.

Следует и дальше совершенствовать применение в производстве магнезии ступенчатого горения/подачи воздуха. Но в 2007 г. эти мероприятия при производстве оксида магния не использовали.

Вторичные мероприятия

В странах ЕС-27 при производстве магнезии *селективное некаталитическое восстановление (SNCR)* для снижения выбросов NO_x не использовали в связи с тем обстоятельством, что для данной технологии необходимо температурное окно между 800-1000 ^{0}C, а производство DBM эндотермический процесс, при котором не достигается такое окно. При раскислении материала температура находится в пределах 500-800 ^{0}C. Стабильно температура выше 800 ^{0}C, необходимой для технологии SNCR, без дополнительного подвода энергии не достигается. Помимо всего прочего это связано со значительным дополнительным ростом затрат на энергию.

По результатам выполненных в 1990-ые годы оценочных исследований установлено ,что *селективное каталитическое восстановление (SCR)* невозможно использовать для снижения выбросов NO_x при производстве DBM также и по экономическим соображениям. Это в основном связано с неопределенностью продолжительности жизни катализатора и сильным загрязнением отходящих газов [108].

Технология SCR действует в температурном окне 300-400 ^{0}C. NO и NO_2 восстанавливаются до N_2 с помощью NH_3 и катализатора. Осуществление этой технологии требует хорошего перемешивания отходящих газов и реагента, поддержание оптимальной температуры впрыска и достаточной продолжительности пребывания в окне оптимальной температуры.

В странах ЕС-27 технологию с использованием SCR при производстве магнезии не применяли. Катализатор очень чувствителен к магнезии. Ввиду большой запыленности отходящий газ прежде, чем вводить катализатор SCR, необходимо обеспылить, например, с помощью тканевого фильтра. Однако ввиду использования высоких температур необходимо перед обеспыливанием в тканевом фильтре отходящие газы охладить до максимальной температуры 250 ^{0}C. Для применения технологии SCR отходящие газы после тканевого фильтра необходимо вновь нагреть до необходимой при использовании SCR температуры 300-400 ^{0}C. Это потребует дополнительных затрат энергии и может стать источником выбросов, например, CO_2.

Экономический эффект

Процесс, связанный с использованием катализатора подразумевает высокие инвестиции.

Движущая сила для внедрения

Требования законодательства

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы по производству магнезии стран ЕС-27 используют первичные мероприятия по снижению выбросов NO_x.

[46, 54, 85, 108, 109, 110, 165, 168, 182]

3.4.7.2 Снижение выбросов CO

Описание и эффект для окружающей среды

Снижению выбросов CO способствует выбор сырьевых материалов с пониженным содержанием органического вещества. На выбросы CO влияют также непрерывный контроль температуры обжига и подачи топлива:

- использование для подачи нефтяного кокса весовых дозаторов;
- использование расходометров и дозирующих клапанов для контроля подачи в печь тяжелого топливного мазута и газа.

Для снижения выбросов CO необходимо обеспечить полное и правильное горение. Подачу воздуха из холодильника и первичного воздуха, а также за счет тяги дымососа следует контролировать для того, чтобы обеспечить содержание кислорода при горении между 1 (CCM) и 1,5 (DBM) %. При периодическом определении состава можно фиксировать высокую (150 мг/нм^3) концентрацию CO и с помощью изменения соотношения воздуха и топлива снижать величину таких выбросов.

Более того, выброс CO можно снижать изменением глубины горелки [108]. Выбросы CO измеряют для того, чтобы оптимизировать процесс и регулировать горение (100 % сгорание) топлива.

В некоторых случаях при определенных обстоятельствах возможно использовать при производстве магнезии технологию управления проскоком CO, аналогичную той, которая используется на цементных печах, оснащенных электростатическим осадителем. Информацию и руководство по контролю проскока CO можно найти в разделах 1.4.5.3 и 4.2.6.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Нет данных.

Эксплуатационные показатели

Сообщают о выбросах CO от 33 до 1000 мг/нм^3.

Суммарный выброс CO_2 при обжиге 1т MgO представляет сумму выбросов CO_2 процессов обжига магнезита и горения топлива. Доля CO_2 за счет сжигания топлива в зависимости от его вида составляет 0,35 - 0,53 т CO_2 на т MgO для газа и 0,813 т CO_2 на т MgO для смеси условного топлива.

Пригодность

Это техническое решение в принципе пригодно для производства магнезии.

Экономический эффект

Отсутствуют данные.

Движущая сила для внедрения

Требования законодательства.

Примеры предприятий и использованная литература

Используется на заводах по производству магнезии в ЕС-27

[46, 85, 108, 109, 110, 165, 168, 182]

3.4.7.3 Снижение выбросов SO_2

Описание

В основном выбросы SO_2 зависят от содержания в топливе серы. Выбросы серы из сырья (магнезита) также в основном зависят от содержания в нем серы. Они в принципе низкие, так содержание серы в сырьевых материалов невелико. Однако при определенных обстоятельствах выбросы SO_2 из сырьевых материалов достигают 50 и даже 100 % суммарных выбросов SO_2 .

При производстве магнезии с целью снижения выбросов SO_2 предпринимаются такие различные мероприятия по десульфуризации отходящих газов, как:

- использование влажной очистки газов (влажный скруббер);
- распыление в сухом скруббере;
- впрыскивание поглотителя (впрыскивание в поток отходящих газов твердых или жидких поглотителей);
- процесс регенерации.

Техническую информацию и объяснение работы влажного скруббера можно найти в разделе 1.4.5.2.2 главы о цементе.

При использовании поглотителя для достижения эффективного поглощения необходимо обеспечить необходимое время нахождения газа между точкой впрыскивания поглотителя и устройством для осаждения пыли. В качестве эффективного поглотителя SO_2 на некоторых производствах (например, на ТЭЦ) используется реактивная MgO. Несмотря на меньшую по сравнению с другими техническими решениями эффективность, использование такого приема при производстве магнезии имеет двойную привлекательность: меньшие инвестиционные затраты и отсутствие в осажденной в фильтре пыли других веществ. Уловленную в фильтре пыль вновь используют и добавляют в продукцию, обеспечивая минимизацию отходов.

Техническую информацию относительно впрыскивания поглотителя можно найти в разделе 1.4.5.2.1 главы о цементе и 2.4.6.2 главы об извести.

Эффект для окружающей среды

Снижение выбросов SO_2.Выбросы таких летучих веществ, как HCl, SO_2 и пыли можно снизить с помощью влажного удаления пыли, например, скруббера Вентури.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

- Минимизация образования отходов (повторное использование уловленной в фильтре пыли).
- В результате использования влажного скруббера возможен сброс в воду

Эксплуатационные показатели

При использовании топлива с повышенным содержанием серы, такого, как нефтяной кокс, и влажного скруббера для удаления SO_2 при точечных измерениях фиксируются выбросы SO_2 в диапазоне 17,1 - 50 мг/нм^3, при использовании в качестве топлива природного газа выбросы SO_2 находятся на уровне 10 мг/нм^3 [109].

При производстве каустической магнезии во вращающейся печи около 40 % образующегося при горении топлива диоксида серы удаляется в фильтре с пылью.

Пригодность

Это техническое решение может в принципе быть использовано при производстве магнезии. Как отмечено в разделе 3.4.6.2.3, при влажном удалении пыли с помощью влажного скруббера Вентури наряду с HCl и SO_2 удаляются летучие вещества и пыль. Такое техническое решение эффективно для различных производств.

При использовании поглотителя для достижения эффективного поглощения необходимо обеспечить достаточное время нахождения газа между точкой впрыскивания поглотителя и устройством для осаждения пыли.

Экономический эффект

При производстве оксида магния установка влажного скруббера может потребовать инвестиций в 2 - 3 млн. евро. Примеры затрат при использовании для удалении выбросов SO_2 такого технического решения в цементном призводстве можно найти в разделах 1.4.5.2 и 1.4.8.3 настоящего документа.

В зависимости от технического решения процесс десульфуризации отходящих газов может потребовать больших инвестиций.

Движущая сила для внедрения

Требования законодательства.

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы в Австрии, Испании и в других странах ЕС-27

[109, 110, 165, 168, 182]

3.4.8 Общие соображения относительно производственных потерь/отходов

Такие производственные отходы, как различные виды пыли карбоната магния, следует собирать для возвращения в производственный процесс всякий раз когда это практически целесообразно или возможно для повторного использования в товарной продукции. Образующиеся при процессе влажной десульфуризации дымовых газов (в результате отстоя и/или фильтрации) шламы следует использовать для других целей.

Альтернативное применение можно найти и для таких материалов, которые нельзя повторно использовать, таких, как, например, отходы упаковки или отходы, образующиеся в результате обслуживания оборудования.

3.4.9 Шум

Описание и эффект для окружающей среды

Добыча и обработка сырьевых материалов и получение мертво обожженной магнезии неизбежно включают и связанные с шумом операции. Шум создается как процессом в целом так и в результате эксплуатации дробильного и помольного оборудования, печей и их питательных устройств, ленточных конвейеров, фильтров, холодильников. Эксплуатация крупного тяжелого оборудования и мощных вентиляторов может оказаться источником шума и/или вибрации. Применением перечисленных прямых мер к источникам шума часто удается достичь снижения шума:

- закрытие источника шума;
- минимизация шума путем использования звукоизоляционных строений;
- изоляция труб и отводов вентиляторов;
- устройство шумопоглощающих стен;
- установка на дымовых трубах и вентиляторах фильтров наружных глушителей;
- использование для шумного оборудования (например, компрессоров) звукопоглощающих укрытий;
- использование для мельниц резиновых прокладок, предотвращающих контакт «металл-металл».

Если выше перечисленные прямые меры по защите от шума оказались не эффективными или перенос шумного оборудования в помещение невозможен в силу его размеров, например, печей, или особенностей обслуживания, применяют вторичные мероприятия по защите от шума: меняют конструкцию зданий, высаживают между источниками шума (печами, хранилищами) деревья и кустарники. Двери и окна помещений во время выполнения связанных с шумом операций должны быть закрыты.

Для снижения шума можно использовать естественные преграды: здания, стены, деревья, кустарники. Для снижения шума предприятий следует руководствоваться отражающими национальное законодательство стандартами.

Более подробную информацию относительно шумопоглощающих оборудования и конструкций можно найти в разделе 2.4.10 настоящего документа.

Вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды

Для осуществления мероприятий по снижению шума требуются дополнительные инвестиции и расходы на обслуживание.

Эксплуатационные показатели

Отсутствуют.

Пригодность

В производстве магнезии могут в принципе осуществлены меры по снижению шума.

Экономический эффект

Для осуществления мероприятий по снижению шума необходимы дополнительные инвестиции.

Движущая сила для внедрения

Требования законодательства.

Примеры предприятий и использованная литература

Заводы по производству магнезии в Австрии, Испании и в других странах ЕС-27

[45, 109, 110, 165]

3.4.10 Средства экологического менеджмента

Средства экологического менеджмента описаны в разделе 1.4.12 настоящего документа.

3.5 Наилучшие доступные технологии для производства оксида магния по технологии сухого способа обжига природного магнезита

Для понимания этого раздела и его составляющих внимание читателя должно быть направлено назад к предисловию настоящего документа и в частности к пятой части предисловия «Как понять и использовать этот документ». Технические решения и связанные с ними выбросы и/или уровни потребления, или диапазоны уровней, приведенные в этом разделе, необходимо оценить как интерактивный процесс, предусматривающий следующие мероприятия:

- идентификация ключевых для защиты окружающей среды выводов данного раздела: для производства оксида магния расходуется энергия и в воздух происходят выбросы;
- изучение технических решений наиболее отвечающих этим ключевым выводам;
- идентификация наилучших уровней показателей воздействия на окружающую среду на основе доступных данных ЕС и мировой практики;
- изучение условий, при которых достигаются эти уровни показателей воздействия на окружающую среду: соотношение цен. взаимодействие мероприятий по охране окружающей среды и основных движущих сил, вовлеченных в осуществление этих мероприятий;
- выбор наилучшей доступной технологии и связанных с ней выбросов и уровней потребления в этом секторе находятся в соответствии с духом статьи 2 (12) и приложения IV к Директиве.

Экспертная оценка Европейского бюро КПКЗ и соответствующей технической рабочей группы играют ключевую роль во всех перечисленных выше мероприятиях и в том пути, по которому информация попала сюда.

На базе такой оценки определение наилучшей доступной технологии и, насколько возможно, выбросы и уровень потребления при её использовании представлены в настоящем разделе как в целом, так и во многих случаях, отражающих эксплуатацию некоторых устройств. Когда приведены выбросы или уровни потребления, связанные с использованием наилучшей доступной технологии, необходимо понять, что эти уровни представляют воздействие на окружающую среду, которое предполагает результат применения описанных в этом разделе мероприятий с учетом их стоимости и преимуществ, связанных с понятием - наилучшая доступная технология. Однако ни величина выбросов, ни уровни потребления невозможно рассматривать как таковые. В ряде случаев они представляют, технически достижимый уровень наименьших выбросов или потребления, но при этом затраты и учет взаимодействия мероприятий по охране окружающей среды не позволяют рассматривать рассматриваемые технические решения в целом как наилучшее доступное техническое решение. Однако эти уровни можно рассматривать при оценке в более специфических случаях, когда действуют специфические движущие силы.

Уровни выбросов и потребления, связанные с использованием наилучшей доступной технологии, следует рассматривать в связи с специфическими исходными условиями (усредненный период).

Следует отличать описанную выше концепцию «уровней, связанных с использованием наилучшей доступной технологии» от широко используемого в настоящем документе понятия «достижимый уровень». В том случае, когда какой-то уровень рассматривают как «достижимый» с помощью конкретного технического решения или комбинации технических решений, следует осознавать, что этот уровень может быть устойчиво достигнут в течение определенного времени при использовании хорошо обслуживаемого и работающего оборудования или процесса, использующего данное техническое решение.

Доступные данные, касающиеся цен, были, приведены вместе с описанием технического решения в предыдущем разделе 3.4. Там приведена примерная индексация амплитуды колебания цен. Однако реальные затраты на осуществляемое техническое решение сильно зависят от конкретной ситуации, связанной, например, со ставками налогов, уровнем оплаты труда, субсидиями и техническими характеристиками оборудования. В настоящем документе невозможно полностью проанализировать все эти факторы. В отсутствии данных, касающихся цен, заключение об экономической жизнеспособности технического решения делается по результатам наблюдений за существующим оборудованием.

Приводимая в данном разделе наилучшая доступная технология (включая связанные с ней уровни выбросы и потребления) является «Наилучшей доступной технологией по общему ощущению» (т.е. рассматривается как предназначенное для использования в разделе в целом). Имеется ввиду, что они представляют базисный уровень, по сравнению с которым оценивается эксплуатационные характеристики существующего оборудования или проводится оценка предлагаемого нового оборудования. Таким образом, они способствуют выявлению условий, рассматриваемых как основанные на использовании наилучшей доступной технологии или при формулировании правил статьи 9(8) Директивы КПКЗ. Можно предположить, что может быть сконструировано новое оборудование, обладающее лучшими характеристиками, чем у представленного в этом разделе наилучшего доступного оборудования. Предполагается, что существующее оборудование может стремиться к уровню представленного в данном разделе наилучшего доступного технического решения или превысить его по техническим и экономическим показателям.

Ввиду того, что базисные документы наилучшей доступной технологии юридически не являются обязательными стандартами, они предназначены для того, чтобы представлять информацию руководству промышленности, а также общественности о достижимом уровне выбросов и потребления при использовании специальных технических решений. В каждом особом случае следует определить подходящие допустимые условия, принимая во внимание цели Директивы КПКЗ и местные условия.

В настоящем документе рассматривается наилучшая доступная технология для производства оксида магния по технологии сухого способа. Наилучшая доступная технология для специальных целей может использоваться в одиночку, либо в сочетании с перечисленным в этом разделе другой наилучшей доступной технологией.

В том случае, когда технология, в отдельности рассматриваемая как наилучшая доступная может быть использована в сочетании, эффект такого сочетания следует обсудить при выводе заключения о допустимых условиях для базовой наилучшей доступной технологии.

Рекомендации в помощь пользователям/читателям настоящего документа

Ввиду того, что необходимо принять во внимание упомянутые в разделе 3.4 соображения, касающиеся применимости технических решений, настоятельно рекомендуется читать этот раздел 3.5 вместе с разделом 3.4. Для помощи читателю ссылки на раздел 3.4 включены в раздел 3.5.

Приведенные в настоящем разделе уровни выбросов представляют собой среднесуточные, отнесенные к базисному уровню и стандартным условиям. Следующие определения, относящиеся к стандартным условиям, связанные с объемом и концентрацией печных отходящих газов также приведены и в Словаре:

$м^3$/ч	объём потока; если в этом разделе не отмечено противное, объём потока относят к содержанию 10 % кислорода и стандартным условиям
мг/$нм^3$	Концентрация; если в этом разделе не отмечено противное, концентрацию газообразных веществ или смеси веществ относят к сухим дымовым газам при содержании 10 % кислорода и стандартных условиях
Стандарт-	Характеризуются сухим газом с температурой 273 К и давлением 1013 Па

ное состоя-
ние

Как описано в Предисловии, этот документ не предлагает величин пределов выбросов. Наилучшие доступные технологии и представленные уровни выбросов и потребления соотносятся с диапазонами наилучших доступных технологий печей различных размеров, различного (непрерывного или периодического) режима эксплуатации печей и продолжительности их годовой компании. В рассматриваемом документе невозможно полностью учесть особые местные условия. Установление подходящих разрешенных условий потребует принять во внимание такие специфические факторы, как технические характеристики оборудования, географическое положение и местные экологические условия. Даже единственная цель обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды в целом требует сопоставления оценок различных воздействий на окружающую среду и на эти оценки влияют местные обстоятельства.

Хотя и сделана попытка адресного рассмотрения некоторых из этих вопросов, их невозможно полностью рассмотреть в настоящем документе. Технические решения и представленные в разделе 3.5 уровни не обязательно окажутся присущими любому оборудованию. С другой стороны, обязательство обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды подразумевает минимизацию отдаленных или пограничных загрязнений с учетом того, что допустимые условия определены лишь исходя из местных обстоятельств. И, кроме того, предельно важно, чтобы была полностью принята во внимание содержащаяся в этом документе информация.

3.6.1 Система экологического менеджмента

Ряд инструментов, присущих системам экологического менеджмента, является НДТ. Степень охвата (т.е. уровень детализации) и вид СЭМ (стандартизованная или нестандартизованная) должны соответствовать природе, масштабу и сложности установки и уровню её воздействия на окружающую среду.

55. НДТ – это реализация и выполнение определенных требований СЭМ, которые включает, в соответствии с теми или иными местными особенностями, следующие основные положения (см. раздел 1.4.12 главы по цементу):

(a) ответственность высшего руководства (ответственность высшего руководства рассматривается как обязательное условие выполнения других требований СЭМ)

(b) принятие высшим руководством экологической политики, которая включает требование постоянного улучшения (экологической результативности) установки;

(c) планирование и внедрение необходимых процедур, целей и задач с учетом финансовых планов и инвестиций

(d) внедрение процедур, с особым вниманиям к таким позициям, как:

- структура и распределение ответственности;
- обучение, осведомленность и компетентность (персонала);
- коммуникации;
- вовлечение в процесс развития СЭМ всех сотрудников;
- документирование;
- эффективный процессный контроль;
- программа технического обслуживания;
- готовности к нештатным ситуациям и авариям;
- гарантии обязательного соблюдения требований природоохранного законодательства.

(e) проверка и корректирующие действия, с особым вниманиям к таким позициям, как:

- мониторинг и измерения (см. также Справочный документ по общим принципам мониторинга (производственного мониторинга и контроля) [151]);
- корректирующие и предупреждающие действия;
- ведение записей;
- независимый (где осуществимо) внутренний аудит, чтобы определить, соответствует ли СЭМ заложенным изначально принципам, должным ли образом она внедрена и функционирует .

(f) регулярный анализ и пересмотр СЭМ высшим руководством на предмет её пригодности, адекватности и эффективности (действенности).

Ниже перечисляются три параметра, без которых СЭМ не могла бы быть НДТ:

- имеющаяся система управления и процедура аудита проверяется и утверждается аккредитованной сертификационной организацией или внешним органом сертификации СЭМ;
- подготовка и публикация (возможно – внешнее утверждение) регулярных бюллетеней о состоянии окружающей среды, описывающая все важные аспекты влияния установки на окружающую среду, позволяющей выполнить из года в год сравнение целей и задач по защите окружающей среды с возможностью анализа соответствующих достижений;
- подтверждение приверженности и добровольное принятие международной системы, такой, как Европейская система экологического менеджмента и аудита (EMAS) и EN ISO 14001:2004. Этот добровольный шаг мог бы обеспечить высокую кредитоспособность СЭМ. В частности, EMAS, включающая в себя все три вышеперечисленных принципа, обеспечивает высокую кредитоспособность. Однако и нестандартные системы могут быть в равной степени эффективными, если они должным образом спроектированы и выполнены.

Учитывая особенности производства оксида магния, необходимо рассматривать следующие потенциальные особенности системы экологического менеджмента

- влияние на окружающую среду при выводе завода из эксплуатации должно учитываться на стадии проектирования нового завода;
- развитие «чистых» технологий и их дальнейшее совершенствование;
- применение, где осуществимо, на постоянной основе реперных точек по секторам производства, включающих энергетическую эффективность и деятельность по экономии энергии, выбор используемых материалов, выбросы в атмосферу, сбросы в воду, потребление воды и производство отходов.

3.5.2 Общие первичные технические решения – мониторинг

56. НДТ – это выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов, таких, как:

(a) непрерывное измерение параметров, характеризующих устойчивость процесса, таких, как температура, содержание O_2, давление и скорость газового потока, подтверждающих стабильность процесса;

(b) мониторинг и стабилизация таких критических параметров процесса, как расход топлива, дозировка и избыток кислорода;

(c) непрерывная или периодическая (по крайней мере раз в месяц или и во время наибольших выбросов) измерения выбросов пыли, NO_x, SO_x, CO.

3.5.3 Энергопотребление

Общие соображения, касающиеся энергопотребления, можно найти в разделах 3.4.3 и 3.4.5

57. НДТ – это снижение потребления тепловой энергии в зависимости от технологического процесса и продукции до 6 – 12 ГДж/т путем комбинации следующих технических решений:

(a) применение усовершенствованной и оптимизированной печной системы, плавный и стабильный ход процесса обжига, используя:

- оптимизацию контроля процесса, включая компьютерный автоматический контроль;
- рекуперацию тепла отходящих газов и газов из холодильника.

(b) использование топлива с характеристиками, которые оказывают положительное влияние на расход тепла на обжиг (см. разделы 3.2.2 и 3.4.5);

(c) ограничение коэффициента избытка воздуха.

Этот перечень только отражает информацию, приведенную в главе, посвященной производству оксида магния настоящего документа. Не удалось получить более специфичную информацию относительно наилучшего выполнения рассматриваемых технических решений и качества продукции (см. раздел 3.7).

В этой связи рекомендуется ознакомиться с разделами 3.4.3 и 3.4.5, где рассматривается несколько различных мероприятий, которые можно использовать при эксплуатации конкретной печной системы или при сжигании топлива. В этом контексте следует обратиться к документу, рассматривающему использование наилучшего доступного технического решения (НДТ) для повышения эффективности использования энергии [181].

58. НДТ – это минимизация использования электроэнергии путем применения следующих технических решений в отдельности или в комбинации друг с другом:

(a) использование систем управления потреблением электроэнергии;

(b) использование помольного оборудования и другого оборудования, основанное на использовании электроэнергии с высокой энергоэффективностью (см. раздел 3.4.3).

3.5.4 Выбросы пыли

3.5 4.1 Неорганизованные выбросы пыли

Общие соображения относительно неорганизованных выбросов пыли можно найти в разделе 3.4.6.1.

59. НДТ – это минимизация/предотвращение неорганизованных выбросов пыли путем применения для операций, связанных с пылевыделением отдельно или совместно комплекса технических решений.

В этом контексте см. раздел 3.4.6.1, где рассматривается несколько различных технических решений, которые можно использовать по отдельности или совместно.

3.5.4.2 Организованные выбросы пыли при операциях, связанных с пылением

В данном разделе рассматриваются наилучшие доступные технологии для операций, связанных с пылением, но не для процессов в печах. Общие соображения относительно источников пыления можно найти в разделах 3.3.3.1 и 3.4.6.2.

60. НДТ – это снижение выбросов пыли при операциях, связанных с пылением (см. раздел 3.4.6.2) до среднего уровня при отборе проб с интервалом 0,5 – 1 ч. меньше 10 мг/нм^3 (уровень, достигаемый при использовании НДТ) путем очистки дымовых газов с помощью фильтра.

Следует отметить, что для малых источников газовых выбросов с объёмом < 10000нм^3/ч это является предпочтительным решением.

В этом контексте см. раздел 2.4.6.2, где представлены некоторые технические решения, которые можно использовать по отдельности или в сочетании друг с другом.

3.5.4.3 Выбросы пыли при обжиге в печи

В этом разделе рассматриваются наилучшие доступные технологии для выбросов пыли при обжиге в печи. Общие соображения относительно источников выбросов пыли можно найти в разделах 3.3.3.1 и 3.4.6.2.

61. НДТ – это снижение выбросов пыли в дымовых газах, образующихся при обжиге в печи, до среднесуточного уровня или среднего уровня при отборе проб с интервалом 0,5 – 1 ч. < 20 – 35 мг/нм^3 (уровень, достигаемый при использовании НДТ) путем очистки отходящих газов в фильтре.

В этом контексте см. раздел 3.4.6.2, где приведено несколько технических решений, которые можно использовать по отдельности или в сочетании друг с другом.

3.5.5. Газообразные соединения

3.5.5.1 Общие первичные технические решения, направленные на снижение выбросов газообразных соединений

Общие соображения относительно мероприятий, направленных на снижение газообразных выбросов, см. в разделах 3.3.3.1, 3.4.4. и 3.4.5.

62. НДТ – это снижение выбросов газообразных соединений (NO_x, SO_x, HCl, CO) с дымовыми газами печного процесса путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) осуществление тщательного отбора и контроля поступающих в печь веществ;

(b) снижение уровня прекурсоров загрязняющих веществ в топливе и, если возможно, в сырье:

- если возможно, отбирают топливо с с пониженным содержанием серы (особенно для вращающихся печей), азота, хлора (см. разделы 3.4.5);
- если возможно, подбирают сырьевые материалы с пониженным содержанием органического материала;
- выбор в качестве топлива для процесса подходящего отхода и соответствующей горелки (см. разделы 3.2.2 и 3.4.5).

(c) использование технических решений для оптимизации процесса с целью обеспечения плавного и стабильного ведения обжига в печи при подаче воздуха, близкой к стехиометрическому количеству.

3.5.5.2 Выбросы NO_x

Общие соображения относительно выбросов NO_x можно найти в разделах 3.3.3.1 и 3.4.7.1.

63. НДТ – это снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах до среднесуточного уровня < 500 – < 1500 мг/нм^3 (в пересчете на NO_2) путем применения отдельно или совместно следующих технических решений (см. раздел 3.4.7.1):

(a) выбор, если возможно, топлива с ограниченным содержанием азота (см. раздел 3.4.7.1);

(b) осуществление оптимизации процесса обжига и использование более совершенных технологий обжига (см. разделы 3.4.4 и 3.4.7.1).

Более высокий уровень выбросов, достигаемый при использовании НДТ, связан с высокотемпературным процессом производства мертвообожженной магнезии.

В этой связи см. раздел 3.4.7.1, где представлено несколько различных технических решений. Однако на момент написания главы, посвященной производству оксида магния и этого раздела НДТ (2008 г.), нет примеров применения технологий SNCR и SCR для снижения выбросов NO_x при этом производстве. Это связано с тем обстоятельством, что производство оксида магния – это эндотермический процесс (при 500 – 800 ^{0}C), который не достигает температурного окна примерно 800-1100 ^{0}C, где действует SNCR. Требуется дополнительный нагрев дымовых газов. SCR не используется из-за причин, связанных не только с технической, но и с экономической ненадежностью, обусловленной недостаточной продолжительностью жизни катализатора и сильным загрязнением, вызываемым пылью, содержащейся в дымовых газах. До того, как SNCR и SCR можно будет использовать при производстве оксида магния, необходимо выполнение определенного объёма исследований.

Ввиду того обстоятельства, что для обжига мертво обожженного оксида магния необходимы высокие (до 2200 ^{0}C) температуры, здесь не используются горелки с пониженным выбросом NO_x. Они пригодны только при максимальных температурах до 1600 ^{0}C.

В 2008 г. стадийное сжигание топлива не используется при производстве оксида магния и прежде, чем оно найдет применение, необходимо его совершенствование.

3.5.5.3 Выбросы и проскок CO

3.5.5.3.1 Выбросы CO

Общие соображения относительно выбросов CO можно найти в разделе 3.4.7.2.

64. НДТ – это снижение среднесуточных выбросов CO в отходящих печных газах < 50 – 1000 мг/нм^3 (уровень, достигаемый при использовании НДТ) путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

(a) выбор (по возможности) сырьевых материалов с пониженным содержанием органического материала;

(b) оптимизация процесса контроля;

(c) непрерывный и постоянный контроль питания топливом печи.

В этом контексте см. раздел 3.4.7.2, где приведено несколько различных технических решений, которые можно использовать по отдельности и в сочетании.

3.5.5.3.2 Снижение проскока CO

Общие соображения относительно проскока CO можно найти в разделе 3.4.7.2.

65. При использовании электростатических осадителей НДТ – это снижение частоты проскоков CO путем применения следующих технических мероприятий (см. разделы 3.4.6.2.1 и 3.4.7.2):

(a) сокращение времени простоя электростатического осадителя;

(b) использование автоматических методов измерения концентрации CO;

(c) использование в системах мониторинга CO быстродействующего контрольного оборудования, расположенного близко от источника CO.

В этой связи см. также раздел 1.4.5.3 цементной и 2.4.6.3 известковой главы, где представлены различные технические решения, которые можно использовать по отдельности или в сочетании. Кроме того, в разделе 4.2.6 представлены рекомендации по контролю проскоков CO.

3.5.5.4 Выбросы SO_x

Общие соображения относительно выбросов SO_x можно найти в разделах 3.3.3.1,3.4.4, 3.4.5. и 3.4.7.3.

66. НДТ – это снижение выбросов SO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно первичных и вторичных технических решений:

(a) использование технических решений, направленных на оптимизацию процесса (см. раздел 3.4.4);

(b) использование, если возможно, топлива с пониженным содержанием серы (см. раздел 3.4.5);

(c) применение технологии использования поглотителя, т.е введение добавки поглотителя – адсорбента, а для очистки сухих дымовых газов использовать фильтр, влажный скруббер, активированный уголь (см. раздел 3.4.7.3).

Ниже приведены уровни выбросов SO_x при использовании НДТ.

Таблица 3.11 Связанный с использованием НДТ уровень выбросов SO_x с дымовыми печными газами печей производства оксида магния

Параметр	Единица измерения	Уровень выбросов при использовании НДТ (среднесуточное значение) [1)]
SO_x выраженное как SO_2 Содержание серы в сырье < 0,1 %	мг/нм^3	< 50
SO_x выраженное как SO_2 Содержание серы в сырье < 0,1-0,25 %	мг/нм^3	50 - 250
SO_x выраженное как SO_2 Содержание серы в сырье >	мг/нм^3	250 - 400[2)]

0,25 %

[1)]Зависит от содержания серы в сырье. Минимальному содержанию серы соответствует и минимальный выброс, а максимальному-максимальный выброс.

[2)]В зависимости от состава сырья уровень выбросов может в исключительных случаях превзойти уровень 400 мг/нм^3

3.5.6 Производственные потери/отходы

Общие соображения, касающиеся производственных потерь/отходов, можно найти в разделах 3.3.3.2 и 3.4.8.

67. НДТ – это повторное использование, где это возможно, уловленной пыли (различных видов карбоната магния).

68. В том случае, если возврат пыли в технологический процесс не представляется возможным, НДТ – это мероприятия по использованию собранной пыли в составе товарной продукции.

69. НДТ – это использование шламов мокрой десульфуризации дымовых газов в других отраслях промышленности.

3.5.7 Шум

Общие соображения относительно шума можно найти в разделах 3.3.3.4 и 3.4.9.

70. НДТ – это снижение/минимизация уровня шума при производстве оксида магния путем использования по отдельности или совместно следующих технических решений (см. раздел 3.4.9):

(a) закрытие источника шума;

(b) минимизация шума путем использования звукоизолированных сооружений;

(c) изоляция труб и отводов вентиляторов, которые помещают в звукоизолирующие устройства;

(d) устройство шумопоглощающих стен и/или природных шумопоглощающих препятствий;

(e) установка наружных глушителей на дымовых трубах;

(f) установка глушителей на вентиляторах фильтров;

(g) использование для шумного оборудования (например, компрессоров) звукопоглощающих укрытий;

(h) использование для мельниц резиновых прокладок, предотвращающих контакт «металл-металл»;

(i) сооружение зданий или использование растущих деревьев и кустарников для защиты участков от воздействий шума;

(j) закрытие дверей и окон.

3.5.8 Использование отходов в качестве топлива и/или сырья

Общие соображения относительно использования отходов можно найти в разделах 3.2.2 и 3.4.5. В этой связи представляет интерес Директива по сжиганию отходов [59].

При использовании отходов НДТ – это:

a) выбор подходящих для процесса отходов и горелки (см. разделы 3.2.2 и 3.4.5);

b) использование системы менеджмента качества для подтверждения гарантийных характеристик и анализ отходов для подтверждения:

- доступности;
- постоянства качества;
- физических критериев - образование выбросов, крупность зерен, активность, спекаемость, теплотворная способность;
- химических критериев - содержание хлора, серы, щелочей, фосфора и летучих металлов.

c) контроль достаточного количества параметров любых отходов, которые предназначены для использования – общего содержания галогенов, металлов (хрома, свинца, кадмия, ртути, таллия) и серы.

В этом контексте при сжигании отходов следует принимать во внимание требования Директивы по сжиганию отходов [59].

3.6 Перспективные технологии

При производстве оксида магния сухим способом никакие перспективные технологии в настоящее время не рассматриваются.

3.7 Выводы и рекомендации

Расписание рабочего процесса

Встреча инициативной группы для обсуждения справочника по НДТ состоялась в сентябре 2005 г. Рабочая группа согласилась расширить сферу действия этого документа, посвященного производству цемента и извести, добавив в него раздел, связанный с промышленным производством оксида магния (MgO/магнезии) по технологии сухого способа. После периода сбора информации и данных в феврале 2007 г. состоялась вторая встреча рабочей группы для того, чтобы подтвердить и согласовать информацию и данные, которые должны быть включены в переработанный справочник по НДТ. Более того, рабочая группа поставила вопрос об исключении процедуры обзора этого документа для того, чтобы разделить дискуссию по разделам 1 - 4 и разделам НДТ трех глав, посвященных цементу, извести и оксиду магния.

Исходя из запроса рабочей группы и принимая во внимание общую схему справочников по НДТ (декабрь 2005 г.), форум обмена информацией согласился разделить обсуждение разделов 1-4 и НДТ по трем главам, посвященных цементу, извести и оксиду магния.

В международной технической рабочей группе в течение 2006 – 2008 гг. состоялся обмен информацией по производству оксида магния по технологии сухого способа. Разработка главы, посвященной MgO, этого документа основывалась на информации, полученной и прокомментированной в ходе двух консультаций и финальной встречи.

Первый вариант документа, охватывающий переработанные разделы 1-4 и 6 трех глав, рассматривающих цемент, известь и оксид магния, был издан для обсуждения в сентябре 2007 г. Вторая часть первого варианта, охватывающего разделы технологии, обсуждающие определение НДТ (разделы1.4,2.4 и 3.4) и разделы НДТ (1.5,2.5 и 3.5) этих трех глав, была издана для обсуждения в мае 2008 г.Завершающая встреча рабочей группы состоялась в сентябре 2008 г.

Первый вариант пересмотренного документа, представляющего справочник НДТ, являющийся пионером первой серии справочников НДТ, был встречен с огромным интересом. В работе пленарного совещания завершающей встречи рабочей группы приняло участие 110 членов рабочей группы.

Исходя из общей схемы обзора справочников НДТ (декабрь 2005 г.), пересмотр справочников НДТ по цементу и извести не потребовал полной переделки первого документа, принятого в декабре 2001 г., но привел к модернизации и включению дополнительной информации, обзор которой (например, касающейся технологии) внес вклад в окончательные НДТ. Обмен информацией и сбор данных были основаны на пожеланиях рабочей группы и на выводах, согласованных при второй встрече рабочей группы (январь 2007 г.). Руководящий документ по сбору данных, согласованный с форумом обмена информацией в апреле 2008 г., в этом процессе не использовался.

Источники информации, использованные в главе о MgO и пробелы в информации

Глава о MgO была разработана с самого начала и основана на шести документах и пяти источниках информации как из промышленности, так и из одной страны - члена сообщества. Эти доклады были представлены EUROMINES - промышленной ассоциацией, объединяющую европейских производителей MgO и членом сообщества Австрией. Эти документы можно рассматривать как строительные блоки главы о MgO настоящего документа.

Дополнительная полезная информация была получена в ходе посещения в Австрии предприятия, производящего MgO .

Следует отметить, что по доступной информации в 2008 г. в ЕС-27 действовали лишь 14 заводов, принадлежащих девяти производителям оксида магния, и соответственно небольшое число предприятий, производящих спеченный оксид магния.

Несмотря на большой объём информации и комментариев по различным проблемам, следует подчеркнуть недостаточность информации и показателей относительно некоторых моментов главы о MgO:

- недостаток информации об энергопотреблении в различных типах печей при производстве отдельных видов продукции и наилучшими эксплуатационными показателями. Относительно вывода о НДТ для энергопотребления (НДТ 58 раздел 3.5.3) диапазон параметра только отражает информацию, приведенную в документе НДТ. Отсутствует конкретная информация об эксплуатационных показателях в связи с качеством продукции.
- недостаток данных относительно мониторинга и частоты мониторинга, т.е. периодичности измерений.
- для снижения и устранения выбросов NO_x в 2008 г. использовали лишь первичные мероприятия. В производстве MgO по различным причинам еще не применяли вторичные мероприятия, а именно SCR и SNSR. Однако это направление необходимо исследовать. В этом смысле необходимо разработка пояснений относительно влияния НДТ на выбросы NO_x (НДТ 63 раздел3.5.5.2).
- недостаток информации относительно выбросов SO_x как из сырьевых материалов, так и из топлива и о технологии устранения таких выбросов.
- недостаток информации относительно частоты и продолжительности проскока CO при использовании электростатических осадителей, поэтому НДТ основывается на качественном подходе.
- отсутствует информация относительно вспомогательных технологий.

Уровень согласования на завершающей встрече рабочей группы

Выводы по работе, связанной с главой о MgO, были согласованы на завершающей встрече рабочей группы в сентябре 2008 г. Главной темой обсуждения на этой встрече были выводы, касающиеся НДТ. Предложенные НДТ обсуждали раз за разом.

Другой обсуждаемой темой был подробное рассмотрение разделов выводов и рекомендаций информационных материалов, поступивших слишком поздно - во время завершающей встречи рабочей группы и после этой встречи. Это в частности относится к информации и показателям об использовании обогащенного серой кокса (петрококса) и к соответствующим исходным величинам выбросов SO_x и применению технологии, обеспечивающей снижение этих выбросов. Рабочая группа подчеркнула, что для снижения выбросов газообразных веществ следует использовать первичные НДТ как индивидуально, так и в сочетании друг с другом (см. НДТ 62 раздел 3.5.5.1). Кроме того, рабочая группа пришла к выводу, что в НДТ для снижения выбросов SO_x следует использовать сочетание первичных и вторичных мер (см. раздел 3.5.5.4 НДТ 66).

На завершающей встрече происходила детальная дискуссия относительно уровня выбросов SOx при использовании НДТ и, в частности, в случае содержания серы в сырьевом материале более 0,25 % (см. раздел 3.5.5.4 НДТ 66). Некоторые представляющие производство оксида магния члены рабочей группы высказали мнение, что такой уровень невозможно достичь вследствие того, что имеется очень высокий начальный уровень SO_x за счет использования обогащенного серой топлива. Однако результат детального анализа технических аргументов позволил отметить, что при комбинировании первичных и вторичных мероприятий (см. НДТ 62 и НДТ 66) возможно достичь среднесуточного значения выбросов SO_x 400 мг/нм^3. Никаких доводов за то, чтобы поддерживать уровень НДТ выше 400 мг/нм^3, члены рабочей группы не представили. Представляющие производство оксида магния отметили, что очень высокий начальный уровень SO_x перед удалением связан с использованием в качестве единственного топлива богатого серой петрококса. При этом было подчеркнуто, что на рынке имеется несколько видов петрококса. Информация относительно выбора топлива при сопоставлении удельных затрат и содержания серы представлена в документе по НДТ (см. раздел 3.4.5 рис. 3.13). Вместе с тем информация о различных видах петрококса, содержащих различное количество серы, отсутствует. При переходе на другой (не петрококс) вид топлива или же, если возможно, на петрококс с меньшим содержанием серы, возможно снизить начальный уровень SO_x (см. раздел 3.5.5.1 НДТ 62). Кроме того, следует применять сочетание первичных и вторичных мероприятий, как рекомендуется в НДТ 66 (см. раздел 3.5.5.4).

На завершающей встрече рабочей группы в сентябре 2008 г. была достигнута высокая степень согласия по НДТ для производства MgO, не было зафиксировано никакого раскола во мнениях. Более того, при ретроспективном рассмотрении всего периода обмена информацией сделан вывод о том, что процесс обмена информацией прошел успешно.

Рекомендации по дальнейшей работе

Обмен информацией и её результат для производства оксида магния, рассматриваемый в главе об оксиде магния настоящего документа, представляет важный шаг в направлении достижения предотвращения и контроля уровня загрязнений при производстве оксида магния. Дальнейшая работа над последующими изданиями может быть продолжена в направлении:

- сбора данных путем принятия во внимание руководства предложенного форумом обмена информацией в документе, изданном в апреле 2008 г., для отражения использования на уровне предприятия определенной технологии, особенно возможной НДТ;
- сбора данных о расходах (инвестиции, эксплуатационные),с вязанных с технологией, рассматриваемой как НДТ;
- сбора данных о расходах на эффективное использование технологии очистки;

- сбора информации относительно соотношения между типом процесса, используемым отходом (видом, количеством) и выбросами;
- сбора информации о мониторинге выбросов и частоте мониторинга, т.е о периодичности мониторинга;
- исследования документа о общих принципах мониторинга;
- сбора информации об энергопотреблении различных типов печей при выпуске различных видов продукции;
- проведение исследований и дальнейшее развитие первичных мероприятий по снижению выбросов NO_x;
- проведение исследований и дальнейшее развитие мероприятий по использованию технологий SNCR и SCR для снижения выбросов NO_x при производстве оксида магния и сбор информации и показателей по этой проблеме;
- сбор информации и экономических показателей о содержании серы в сырье и топливе;
- дальнейшие изучение и сбор информации относительно мероприятий (первичных и вторичных), способных снизить выбросы SO_x, доступности топлива с пониженным содержанием серы, возможности перехода на топливо с низким содержанием серы и сбор информации о выбросах SO_x за счет сырья и/или топлива;
- исследование и сбор данных о частоте и продолжительности проскоков CO при использовании электростатических осадителей;
- изучение возможности использования перспективных технологий.

Предполагаемые темы для будущих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Что касается технических решений, рассматриваемых в разделе, посвященном перспективным технологиям (раздел 3.6), еще необходимо и полезно провести часть будущих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с тем, чтобы в будущем эти технические решения можно было рассматривать определяющими НДТ для производства оксида магния.

Кроме того, ЕС предпринимает и поддерживает программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, серию проектов, посвященных чистым технологиям, появляющимся вариантам технологии и стратегии обработки и регенерации. В принципе эти проекты могут обеспечить полезный вклад в будущие обзоры НДТ. Читателей приглашают информировать EIPPCB обо всех результатах исследований, относящихся к проблематике этого документа (см. Предисловие).

Список использованных источников информации

3 Austria, U. (1997). "Basic criteria for BAT cement/Information for cement and lime BREF 2001", UBA-IB-560 September 1997.

4 Austria, U. (1998). "BAT bei Anlagen zur Zementherstellung M-105 (1998) / Information for cement and lime BREF 2001", M-105 (1998).

8 CEMBUREAU (2001). "Information for cement industry/Information for cement and lime BREF 2001".

9 CEMBUREAU (1997 November). "BAT for the cement industry, November 1997 / Information for cement and lime BREF 2001".

10 Cementa AB/Hagström, P. (1994). "Underlag för omprövning av utsläppsvillor / Information for reconsideration and updating of permit conditions 1994 obtained during a plant visit 1997 and information communicated at other occasions / Information for cement and lime BREF 2001".

11 Coulburn, D. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

12 Netherlands (1997). "Dutch notes on BAT for the production of cement clinker/Information for cement and lime BREF 2001".

16 EuLA (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

18 Göller (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

19 Haugh (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

20 Rother, W. (1996 January,). "International Cement Review/Exhaust gas emissions / Available control technology for gaseous emissions in cement plants / Information for cement and lime BREF 2001".

21 BCA (1997 October). "International Cement Review/Information for cement and lime BREF 2001".

22 Japan, C. A. (1996). "Information for cement and lime BREF 2001".

23 de Jonge, L. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

24 Junker, P. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

27 University of Karlsruhe, G. (1996). "Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany - Volume II, Heavy Metal Emission Control (August 1996), (UBA Research report 104 02 360 (January 1997))", UBA Research report 104 02 360 (January 1997).

29 Lohse, J. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

30 Marchal, F. (2001). "Information for cement and lime BREF 2001".

31 LUA NRW, G. (1997). "LUA-Materialien No. 43, Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe, The European Dioxin Inventory, (1997)".

37 UK (1996). "UK IPC Note: Cement Manufacture, Lime Manufacture and Associated

Processes, IPC Guidance Note S2 3.01 (1996) / Information for cement and lime BREF 2001".

38 UK (1996). "Technical and Economic Review of Cement and Lime Processes (1996), Contract Ref: HMIP/CPR2/41/197 / Information for cement and lime BREF 2001".

39 Ullmann's (1986). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th edition, Vol. A 5, 489-537 (1986), Cement and Concrete / Information for cement and lime BREF 2001".

40 Ullmann's (1990). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th edition, Vol. A 15, 317-345 (1990), Lime and Limestone / Information for cement and lime BREF 2001".

41 Kupper/Brentrup (1992). "SNCR technology for NOx reduction in the cement industry, World Cement, p. 4-8, March 1992 / Information for cement and lime BREF 2001".

42 Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller (1996 October). “Current state of NOx abatement in the cement industry/Information for cement and lime BREF 2001", ZKG International, Volume 49, No. 10, p. 545-560, (1996).

43 Wulf-Schnabel/Lohse (1998). "Economic evaluation of NOx abatement techniques in the European Cement Industry, Report compiled for DG XI, Contract Nº B4-3040/98/000232/MAR/E1 / Information for cement and lime BREF 2001".

44 EuLA (2006). "Draft lime sector Chapter 2.1 and 2.2".

45 Schorcht, F. (2006). "Personal Communication by site visits".

46 Germany (2006). "German contribution part I: Lime manufacturing industries", Compilation by German National Working group and German lime industry.

47 European Commission (2004). "Reference Document on Best Available Technique for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities".

48 European Commission (2005). "Reference Document on Best Available Techniques for Management of the Waste Treatments Industries".

49 European Commission (2000). "European waste catalogue", 2000/532/EC2, (2001/573/EC).

50 Germany (2006). "German contribution: Use of alternative fuels in lime manufacturing", Compilation by German National Working group and German lime industry.

51 EuLA (2006). "Use of alternative fuels in lime manufacturing".

53 Norsk Hydro Norway (2001). "Performance figures for a gas suspension calcination lime plant (GSC plant)".

54 EuLA (2006). "Draft lime sector Chapter 2.3 and 2.4 and additional information on these chapters".

55 Spain (2006). "Energy consumption by various types of lime kilns".

56 EuLA (2006). "Metals database EuLA".

57 European Commission (2005). "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration Industries".

58 European Commission (2003). "Reference Document on Best Available Technique for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector".

59 European Commission (2000). "Council Directive 2000/76/EC on the incineration of waste", 2000/76/EC.

60 VDI 2094 Germany (2003). "Emissionsminderung Zementwerke/Emission control cement industry, VDI 2094, March 2003".

61 France (2006). "Cost calculation regarding abatement techniques in lime industry (ESP, fabric filter, deduster)", contribution for review.

62 France/DFIU/IFARE Karlsruhe (2004). "EGTEI - Draft background document on lime sector".

63 Finland (2006). "Contributions: Information and emissions from Finnish cement and lime plants".

64 Czech Republic (2006). "The lime industry in the Czech Republic".

65 Finland (2006). "Template Emission components - Saxo Mineral Finland - lime".

66 Austria (2006). "The Austrian lime industry".

67 Austria (2006). "Plant visit report Austria May 2006".

68 EuLA (2006). "Database emissions lime manufacturing".

70 Hungary (2006). "Raw material characteristics from Labatlan lime plant in Hungary".

71 Hungary (2006). "Information regarding Hungarian lime industry and measurements".

72 CEMBUREAU (2006-2008,). "General information about cement industry, updates 2006, 2007 and 2008".

73 CEMBUREAU (2006). "Existing national and international legislation and emission limits".

74 CEMBUREAU (2006). "2004 and 2005 statistics on the use of alternative fuels and materials in the clinker production in the European cement industry".

75 Estonia (2006). "Review to BREF for Kunda, cement manufacturing and annexes".

76 Germany, V. (2006). "Cement manufacturing industries, German contribution".

78 E. Baatz + G. Heidt (2000). "First waste heat power generating plant using the Organic Rancine Cycle Process for utilizing residual clinker cooler exhaust air".

79 Germany (2001). "Niedertemperaturverstromung mittels einer ORC-Anlage im Werk Lengfurt der Heidelberger Zement AG, Messergebnisse".

80 Alvaro A. Linero (2006). "Trip report on SCR experiences at Solnhofer Portland Zementwerke, Cementeria de Monselice and ASM Brescia waste-to energy plant".

81 Castle Cement UK (2006). "Presentations and contributions from British cement plants during site visits".

82 CEMEX Rugby UK (2006). "Presentations and contributions from British cement plants during site visits".

83 CEMBUREAU (2006). “Guideline on CO trips".

84 CEMBUREAU (2006). "Specific energy consumption".

85 CEMBUREAU (2006). "Contributions on NOx abatement".

86 EURITS (2006). "Contribution: Template for the review of the cement and lime BREF".

87 European Commission (2001). "Reference Document on Best Available Technique on the Production of Iron and Steel".

88 SINTEF (2006). "Formation and Release of POPs in the Cement Industry".

89 ERFO, T., Glorius, Scoribel, (2005). "Classification of solid recovered fuels".

90 Hungary (2006). "Hungarian cement industry".

91 CEMBUREAU (2006). “Air emissions and alternative fuels in the European cement industry".

92 Austria (2006). "Austrian cement industry", Contribution with Annexes 1,2 and 3.

93 EuLA (2006). "NOx abatement in the lime industry".

94 European Commission (2004). "Directive 2004/8/EC on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the integral energy market and amending Directive 92/42/EEC".

95 Sweden (2006). "SNCR principle of selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides (NO, NOx)".

96 European Commission (2006). "Reference Document on Best Available Technique on emissions from storage of bulk or dangerous materials".

97 CEMBUREAU (2007). "Behaviour of SO2 in the clinker burning process".

98 European Commission (2000). "Commission Decision 2000/532/EC of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste (notified under document number C(2000) 1147) (Text with EEA relevance)".

99 European Commission (2003). "Directive 2003/87/EC of the European Parliament and the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC".

100 France (2006). "Cost calculation regarding abatement techniques in cement industry (ESP, bag filter, deduster, SNCR, NOx primary technologies, absorbent injection, wet scrubber)", contribution for review.

101 France/ADEME/MEDD (2002). "The French Cement Industry Guide to NOx Emission reduction Measures", contribution for review.

102 France/DFIU/IFARE Karlsruhe (2003). "EGTEI - Draft background document on cement

sector", contribution for review.

103 CEMBUREAU (2006). "Additional contributions, e.g. types of cement and composition, information on chromates, information on why the cement industry has started to use AFR, contributions to the pre-draft of the revised CL BREF, composition information for grey cement", contribution for BREF review.

104 HOLCIM/GTZ (2006). "Guidelines on Co-processing Waste Materials in Cement Production".

105 YARA, M. R. L. (2006). "Contribution on cement industry, NOx abatement".

107 Belgium (2006). "Presentations and contributions from Belgium cement plant in Lixhe during site visit".

108 European Commission (2006). "Reference Document on Best Available Technique for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others Industry (LVIC-S): Chapter 7.7 Magnesium compounds".

109 European Commission (2006). "Reference Document on Best Available Technique for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others Industry (LVIC-S): Chapter 7.7 Magnesium compounds".

110 Spanish DBM producers (2006/2008). "Magnesia production from magnesite (natural process) and information regarding CO, noise emissions and sulphur content in the raw materials as well as additional information regarding dust emission levels achieved in a Spanish MgO plant by using fabric filters".

111 European Commission (2003). "Directive 2003/53/EC of the European Parliament amending the 26th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (nonylphenol, nony;phenol ethoxylate and cement)".

112 Czech Republic (2006). "The cement industry in the Czech Republic".

113 Ireland (2007). "Report of PM 10's and PM 2.5's from air emission point".

114 Sweden (2006). "SNCR technique and NOx emissions in Swedish cement plants".

116 France (2002). "The French Cement Industry Guide to NOx Emission Reduction Measures".

117 Germany (2000). "Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrössenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten".

118 Germany (2007). "Additional contributions regarding cement production, e.g. white cement manufacture, dedusting cement kilns with fabric filters, surface filters, sintered lamella filters".

119 Sobolev, K. (2001). “White cement: Problems of production and quality", Cement and Concrete World, Turkey, pp. pp. 34-42.

120 Spain (2007). "Information on white cement production".

122 European Commission (2004). "European Commission's Decision of 29 January 2004 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council".

123 Ireland (2005). "Contributions regarding summary statement following short term SNCR trials at Limerick Works of Irish Cement".

124 European Commission (2001). "Reference Document on the Best Available Technique in the Pulp and Paper Industry".

125 European Commission (2006). "Reference Document on the Best Available Technique in the Food, Drink and Milk Industry".

126 Oates, J. A. H. (1998). "Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses", ISBN-10: 3527295275/ ISBN-13: 978-3527295272.

127 Portugal (2007). "Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants - volatile organic carbon emissions".

128 Portugal (2007). "Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants - carbon monoxide emissions".

129 EuLA (2006). "Database emissions from lime kilns".

130 Drnek/Maier (2007). "The impact of environmental legislation on the economics of magnesia production".

131 YARA, M. R. L. (2007). "Contribution on cement and lime industries, SNCR in cement and lime production - reducing agents".

132 CEMBUREAU/Federhen (2007). "Contribution: Dry scrubber".

133 CEMBUREAU/Federhen (2007). "Co-generation of power from waste heat".

134 CEMBUREAU/Federhen (2007). "Technical application of fibres in cement manufacturing process and cement works".

135 CEMBUREAU/Federhen (2007). "Contribution: Hybrid dust collector".

136 European Commission, C., March Consulting Group, MAIN Mamagement e Ingeneria Consultores (1993). "Energy Technology in the Cement Industrial Sector", Final Report, Contract No XVII/4.1000/E/91-16.

137 Klein/Hoenig (2006). “Model calculation of the fuel requirement for the clinker burning process", Cement International, reprint from 3/2006, FIZ 2006, pp. 44-63.

138 Italy (2007). "Raw materials for white clinker production in Italy".

139 Italy (2007). "Italian lime production".

140 Italy (2007). "Cement plant-Monselice Cement Works, SCR installation".

141 Leibacher/Bellin/Linero (2007). "High dust SCR succeeds at Cementeria di Monselice".

142 EnvNGO/Tebert (2007). "CO-Minderung bei Kalköfen".

143 Williams, P. T. (2005). "Waste Treatment Disposal", 0470849126.

144 Adlhoch, H.-J. (1996). “Sinterlamellenfilter in der Zementindustrie", ZKG International, Nr. 10/1996,, pp. 594-601.

145 Leibinger/Köberl (2001). “Neuartiges Energie-Minimierungskonzept für Ofenfilter in der Zementindustrie", ZKG International, No. 11/2001, pp. 618-629.

146 Leibinger/Neumann (2003). “Kostenreduktion durch höheres Leistungspotential bei Prozessfiltern in der Zementindustrie", ZKG International, No. 2/2003, pp. 44-52.

147 Marmor/Petzold (2006). “Wirtschaftliche Entstaubung mit Oberflächenfiltern, Teil 3", ZKG International, No. 10/2006, pp. 82-87.

148 Reitemeier (2005). “Neue Hochleistungs-Entstaubungsanlagen im Holcim-Zementwerk Dudfield", ZKG International, No. 8/2005, pp. 75-79.

149 CEN/EN 197-1 (2000). "Cement-Part 1: European Norm on composition, specifications and conformity criteria for common cements".

150 Fabrellas/Larrazabal/Martinez/Sanz/Ruiz/Abad/Rivera (2004). "Global Assessment of PCDD/F emissions from the Spanish cement sector. Effect of conventional/alternative fuels".

151 European Commission (2003). "Reference Document on the General Principles of Monitoring".

152 Germany (2007). "Lime Manufacturing Industries - Reduction of NOx emissions at a rotary kiln with preheater by using the SNCR technique (practical experience)".

153 Castle Cement UK, P. W. (2007). "Application for variation to IPPC permit BL 1096, Solid Recovered Fuel (SRF) on kiln 4".

154 CEMEX UK (2006). "Application for a variation under PPC to allow use of a fuel known as Climafuel", Permit BL 7248.

155 Germany (2007). "Lime manufacturing industries - Co-incineration of waste".

156 Germany (2007). "Lime manufacturing industries - German example for the use of solid wastes as fuels in a rotary kiln (additions)".

157 Germany (2007). "Lime manufacturing industries - Minimisation of nitrogen oxide emissions by low NOx burners at annular shaft kilns".

158 Germany (2007). "Cement Manufacturing Industries - Duration and frequency of CO trips".

159 Ireland (2006). "Reports of CO emissions because of CO trips from cement plants in Ireland".

160 Germany (2007). "German experience with a 6 moths SNCR performance test".

161 Austria (2006). "Operation and permit data from EIA from Austrian cement plants Wietersdorf (Wietersdorfer&Peggauer Zementwerke GMBH) and Retznei (Lafarge Perlmooser AG)".

162 A TEC (2006). "Modernisation of Wietersdorfer and Peggauer Zementwerke GmbH (CEMTECH Conference Rome 2006)".

163 Castle Cement UK (2006). "Information on energy demand at Padeswood plant, Castle Cement UK".

164 Rheinkalk, W. F. (2007). "Beurteilung der Messungen von Emissionen und Verbrennungsbedingungen für den Zeitraum 01.01.2006 bis 31.12.2006, Kalk- Drehrohrofenanlage-Werk Flandersbach".

165 EUROMINES (2006). "Magnesia production from magnesite (natural process)".

166 European Commission (1995). "Council Regulation (EC) no 384/96 of 22 December 1995 on protection against dumped imports from countries not members of the European Community", Official Journal L 056, 06/03/1996 P. 0001 - 0020.

167 European Commission (2005). "Council Regulation (EC) No 778/2005 of 23 May 2005 imposing a definitive anti-dumping duty on imports of magnesia oxide originating on the People's Republic of China", Official Journal L 131 , 25/05/2005 P. 0001 - 0017.

168 TWG CLM (2007). "Merged and sorted comments master spread sheet on draft 1 and information".

169 Italy (2007). "Information on costs for PFRK (lime) provided with the comments for draft 1 of the revised BREF".

170 Austria (2007). "Contribution on waste input criteria 2007".

171 A TEC (2007). "Statement regarding energy use in the cement plant W&P in Austria".

172 France (2007). "Emissions of particles (PM 10 and PM 2.5) in the cement industry".

173 Germany (2007). "Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: "Möglichkeit und Grenzen der SNCR Technik bei einer klassischen Drehofenanlage der Zementindustrie" im Zementwerk Harburg der Märker Zement GmbH".

174 EUCOPRO (2007). "Examples of waste input criteria from several EU Member States".

175 Lafarge (2007). "Information regarding SOx emissions at Retznei works in Austria".

176 France (2008). "Contributions regarding emerging techniques in the cement industry (reduction of SOx , dust emissions)".

177 EULA (2008). "Updated contributions regarding lime manufacturing, e.g. improvement on energy efficiency in lime kilns, figure on the lime manufacturing process, dust emissions data from UK (using wet scrubbers)".

178 CEMBUREAU (2008). "Use of waste fuels in cement kilns (Co-processing of waste in cement kilns) - Ökopol Waste Incineration Assessment".

179 European Commission (2006). "Reference Document on Economics and Cross-Media Effects".

180 Mauschitz (2004). "Emissionen aus Anlagen der östereeichischen Zementindustrie V".

181 European Commission (2008). "Reference Document on the Best Available Techniques in Energy Efficiency".

182 TWG CLM (2008). "Merged and sorted comments master spread sheet on second part of draft 1 and information".

183 Szednyj/Schindler (2005). "Minderungspotentiale der NEC-GAse und Staub bis 2010 der Österreichischen Zementindustrie", Berichte BE-261.

Список сокращений и терминов

Английское обозначение	Значение
Achieved environmental benefits	Достигаемые эффекты по защите окружающей среды
AFR	Заменитель топлива и сырьевых материалов
alloy	Сплав
ASK	Кольцевая шахтная печь
atm	Нормальная атмосфера (1атм=101325 Н/м^2)
AWDF	Топливо из отходов сельскохозяйственного производства
bar	Бар (1,013 бар=1атм)
BAT	Наилучшая доступная технология (НДТ)
BAT-AEL	Уровень выбросов, соответствующий НДТ
BREF	Документ, освещающий НДТ
^{0}C	Градус Цельсия
Calorific value	Истинная калорийность
CAS#	Инентификационный номер хим. соединения
causter	Обожженная каустическая магнезия (ССМ)
CCM	Обожженная каустическая магнезия (ССМ)
CEMs	Непрерывные мониторинги выбросов
CEN/TC 343	Европейский комитет по стандартизации, рабочая группа «Утилизация твердых горючих отходов»
chalk	Аморфный вид карбоната кальция
Channeled emis-sion	Выброс загрязняющих веществ из различных источников
CIS	СНГ
CKD	Пыль цементной печи
CL 70-80	Стандарты CL70 соответствует EN 459 «Строительная известь» CaO+MgO > 65 % CL80 соответствует EN 459 «Строительная известь» CaO+MgO > 75 %
Cross-media effects	Взаимодействие мероприятий по охране окружающей среды
cSt	Сантистокс (единица вязкости)
dB(A)	Децибел
DBM	Мертво обожженная магнезия
diagenesis	Совокупность химических, физических и биологических процессов
Diffuse emissions	Выбросы, возникающие при прямом контакте летучих и легко пылящих веществ с окружающей средой, неорганизованные пылевыбросы
Diffuse emissions sources	Источники неорганизованных выбросов пыли
DL 70-80	Стандарты DL70 доломитовая известь соответствует EN 459 «Строительная известь» CaO+MgO > 75 % DL80 доломитовая известь соответствует EN 459 «Строительная известь» CaO+MgO > 80 %
dolomite	Доломит $CaMg(CO_3)_2$
EC#	Семизначный код (ЕС номер) присваивается Комиссией ЕС химическим веществам
EEA	Европейское агентство по окружающей среде
EFTA	Европейская ассоциация свободных профсоюзов
e.g.	Например
EGTEI	Экспертная группа TEI
EINICS	Европейский кадастр существующих химических соединений

EIPPCB	Европейский институт КПКЗ
ELINCS	С 19 сентября 1981г заменил EINICS
ELV	Предельная величина выброса
EU	Европейский союз
EU-15	Страны-члены ЕС до 1 мая 2004 г.
EU-25	Страны-члены ЕС с 1 мая 2004 г. до 31 декабря 2006 г.
EU-27	Страны-члены ЕС с 1 января 2007 г.
EU-23+	Страны-члены ЦЕМБЮРО Австрия ,Бельгия, Хорватия ,Чешская республика, Дания, Эстония, Финляндия, Франция ,Германия, Греция, Венгрия, Ирландия, Италия, Латвия, Люксембург, Нидерланды ,Норвегия ,Польша, Португалия, Румыния, Словения, Испания ,Швеция, Швейцария, Турция, Великобритания
EPA	Агентство охраны окружающей среды, США
eqC	Эквивалентный углерод
ESP	Электростатический осадитель
EURITS	Ответственность в рамках Европейского союза за сжигание и обработку специальных отходов
EUR	Евро (денежная единица)
EWC	Европейский каталог отходов
Exhaust gas	Отходящий газ процесса горения
Existing installation	Установка, действующая на 30 октября 1999 г.
FGD	Десульфуризация дымовых газов
FGT	Обработка дымовых газов
Flue-gas	Дымовой газ
FM	Плавленая магнезия
Fugitive emissions	Загрязнение атмосферы неорганизованными источниками(вне системы дымовых труб)
GSC	Обжиг во взвешенном состоянии
Hydrated lime	Гашеная известь, $Ca(OH)_2$
i.e.	То-есть
IEF	Форум обмена информацией
Immission	Наличие в окружающей среде загрязняющих веществ, запахов или шума
installation	Стационарная техническая установка, упомянутая в Приложении 1 к директиве КПКЗ
IPCC	Межгосударственная комиссия по изменению климата
IPPC (КПКЗ)	Комплексное предотвращение и контроль загрязнений
I-TEQ	Международный эквивалент токсичности
IUPAC	Международный союз номенклатуры в чистой и прикладной химии
kkal	Килокалория (1 ккал=4,19 кДж)
kg	Кг (1 кг = 1000г)
kJ	Килоджоуль (1кДж=0,24 ккал)
KOH	Гидроксид калия
kWh	Киловатт-час (1кВтч=3600кДж=3,6МДж)
K	-калий -градус Кельвина
Leak air	Утечка (подсос) воздуха
limestone	Известняк, порода, состоящая в основном из $CaCO_3$
L.O.I/LOI	Потери при прокаливании
LRK	Длинная вращающаяся печь
m	Метр
m/min	м/мин
m^2	$м^2$
m^3	$м^3$
m^3/h	$м^3/ч$ объем потока газа

magnesia	Оксид магния (MgO)
Magnesite	Карбонат магния $MgCO_3$
Magnesium oxide	Оксид магния (MgO)
Measures / techniques	См. techniques
micrometre	1 микрометр=10^{-6}м
MFSK	Шахтная пересыпная печь
mg	Миллиграмм (1мг=10^{-3}г)
Mg|m^3	мг/$м^3$, концентрация
MHF	Многоподовая печь
mm	Мм (1мм=10^{-3}м)
mmWG	мм водяного столба
monitoring	Долговременное наблюдение
morphology	Изучение структуры и формы частиц
MSW	Твердые городские отходы
Mt	Мегатонна (1Мт=10^3т)
Mj	Мегаджоуль (1МДж=1000кДж=10^6Дж)
MW	Мегаватт
ng	Нанограмм (1нг=10^{-9}г)
Nm^3	Нормальный $м^3$ (при 101,3кПа,273 К)
NVC	Истинная теплотворная способность
OECD	Организация экономического сотрудничества и развития
OECD Mix	Смешение первичной энергии стран-членов OECD
OK	Печи другой конструкции
ORC	Органический цикл Ранкина
OSK	Другие шахтные печи
Ωcm	Ом·см, единица сопротивления
PCB	полихлорированные бифенилы
PCC	Осажденный карбонат кальция
PCDD (ПХДД)	Полихлорированные дибензодиоксины
PCDF (ПХДФ)	Полихлорированные дибензофураны
PCP	Пентахлорфенол
PCT	Полихлорированные терфенилы
PF	Пылевидное топливо
PFRK	Регенеративная печь с параллельным потоком материала
pH	Водородный показатель
PLC	Компьютер, используемый для автоматизации производственных процессов
PM	Зернистый материал/пыль
Podsol	Отбеливающая глина
pollutant	Загрязняющее вещество
POPs	Неразлагающиеся органические загрязняющие вещества
pozzolana	Гидравлическая добавка
Pozzolanic cement	Пуццолановый цемент
RKP	Вращающаяся печь с подогревателем
PTFE	Политетрафторэтилен
PVC	Поливинилхлорид
quicklime	Негашеная известь
RDF	Горючие отходы, приготовленные из предварительно обработанных и сортированных фракций отходов
RK	Вращающаяся печь
RK burner	Горелка вращающейся печи
ROK	Выходящий из печи
ppm	Частей на миллион
SCR	Селективное каталитическое восстановление
SEM	Растровая электронная микроскопия
siliceous limestone	Известняк с примесью SiO_2
SK	Шахтная печь

Spot measurement	Точечные, а не непрерывные измерения
Standard conditions for the cement and magnesium oxide industries	Стандартные условия для производства цемента и оксида магния: температура 273,15 К и давление 1013 Па и содержание 10 % O_2
Standard conditi-ons for the lime industry	Стандартные условия для известкового производства : температура 273,15 К, давление 1013 Па и содержание 11 % O_2
Standard state	Стандартные условия: температура 273,15 К и давление 1013 Па
StDev	Стандартное отклонение
t	Тонна
t60	Характеристика активности извести: время, необходимое для повышения температуры от 20 до 60 ^{0}C при взаимодействии негашеной извести с водой
TCDD	Тетрахлордибензодиоксин
TE	Эквивалент токсичности
Technique	Как технология, так и оборудование для её осуществления
TEQ	Междунанародные эквиваленты токсичности (диоксины и фураны)
TOC	Общий органические соединения
TWG	Техническая рабочая группа
UBA	Федеральное агентство охраны окружающей среды
UNFCCC	Рамочная конвенция ООН по изменению климата
VDZ	Германская цементная ассоциация
VOC	Летучие органические соединения
WDF	Топливо из отходов
WID	Директива по сжиганию отходов
% w/w or wt%	Проценты по массе
% v/V or vol%	Проценты по объёму

Химические элементы и соединения

Ag	Серебро
Al	Алюминий
Al_2O_3	Оксид алюминия
As	Мышьяк
Ba	Барий
Be	Бериллий
Ca	Кальций
$CaCO_3$	Карбонат кальция
CaO	Оксид кальция
$Ca(OH)_2$	Гидроксид кальция
$CaMg(OH)_2$	Гидроксид кальция магния
Cd	Кадмий
CH_4	Метан
CN	Цианид
Co	Кобальт
CO	Оксид углерода
CO_2	Диоксид углерода
Cr	Хром
Cu	Медь
F	Фтор
Fe	Железо
Fe_2O_3	Оксид железа
HCl	Хлористоводородная кислота
HF	Фтористоводородная кислота

Hg	Ртуть
H_2O	Вода
H_2S	Сероводород
$MgCO_3$	Карбонат магния
MgO	Оксид магния
Mn	Марганец
Mo	Молибден
N_2	Азот
Na	Натрий
Ni	Никель
NH_3	Аммиак
NH_4	Аммоний
NO	Оксид азота
NO_2	Диоксид азота
NO_x	Оксиды азота
O	Кислород
Pb	Свинец
Pd	Палладий
Pt	Платина
Rh	Радий
Sb	Сурьма
Se	Селен
SiO_2	Диоксид кремния
Sn	Олово
SO_2	Диоксид серы
SO_3	Триоксид серы
SO_x	Оксиды серы
Te	Теллур
Ti	Титан
Tl	Таллий
V	Ванадий
Zn	Цинк

4 Приложения

4.1 Природоохранное законодательство Европейского сообщества применительно к производству цемента и извести

- Директива Совета Европы 2000/76/EC по сжиганию отходов (4 декабря 2000 г.)
- Европейский каталог отходов (EWC), который был разработан согласно статье 1(a) Директивы Совета 75/442/EEC по отходам:
  - Решение Комиссии 2000/532/EC от 3 мая 2000 г., принятое вместо решения 94/3/EC, устанавливающее перечень отходов согласно статье 1(a) Директивы Совета 75/442/EEC по отходам и решение комиссии 94/904/ EC, устанавливающее согласно статье 1(4) Директивы Совета 91/689/EEC перечень опасных отходов (зарегистрирован под номером C (2000) 1147)
- Директива Совета 2004/8/EC по развитию процесса когенерации электроэнергии, основанном на потребности в полезном тепле на объединенном рынке энергии и исправляющую Директиву 92/42/EEC (11 февраля 2004 г.).

4.2 Приложения – производство цемента

4.2.1 Группировка горючих отходов ЦЕМБЮРО согласно Европейскому каталогу отходов

Таблица 4.1 Группировка горючих отходов ЦЕМБЮРО согласно Европейскому каталогу отходов [91]

Группа 1: Древесина, бумага, картон

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 02	Отходы сельского хозяйства, садоводства, водного хозяйства, лесного хозяйства, охоты, рыболовства, пищевой промышленности	
02 01 07	Отходы лесного хозяйства	
Категория 03	Отходы обработки древесины, производства панелей, фурнитуры, бумаги, картона	
03 01 02	Свежие опилки	
03 01 03	Стружки, отходы рубки леса, строевого леса, фанеры,	
03 03 07	Отходы переработки бумаги и картона	
Категория 15	Отходы упаковки, поглотители, ветошь, фильтровальные ткани, защитные чехлы	
15 01 01	Упаковочная бумага и картон	
15 01 03	Деревянная упаковка	
Категория 17	Строительные отходы и отходы при разборке сооружений (в том числе загрязненный грунт)	
17 02 01	Древесина	
Категория 20	Муниципальные отходы (отходы домашнего хозяйства, а также отходы производственные, включая фракционированный материал)	
20 01 01	Бумага и картон	
20 01 37	Древесина, содержащая опасные вещества	✸

Группа 2: Текстильные

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 04	Отходы кожевенного, мехового и текстильного производств	
04 02	Отходы текстильного производства	
Категория 15	Отходы упаковки, поглотители, ветошь, фильтровальные ткани, защитные чехлы	

15 01 09	Текстильная упаковка	
Категория 19	Отходы установок по переработке отходов, отходов очистки вод, водоподготовки бытового и промышленного назначения	
19 12 08	Текстильные	
Категория 20	Муниципальные отходы (отходы домашнего хозяйства, а также отходы производственные, включая фракционированный материал)	
20 01 10	Ткани	

Группа 3: Пластики

Категория отходов	**Описание отхода**	**Опасность**
Категория 02	Отходы сельского хозяйства, садоводства, водного хозяйства, лесного хозяйства, охоты, рыболовства, пищевой промышленности	
02 01 04	Отходы пластиков	
Категория 12	Отходы формования, физической и механической обработки поверхности металлов и пластика	
12 01 05	Частицы пластика	
Категория 15	Отходы упаковки, поглотители, ветошь. фильтровальные ткани, защитные чехлы	
15 01 02	Пластиковая упаковка	
Категория 20	Муниципальные отходы (отходы домашнего хозяйства, а также отходы производственные, включая фракционированный материал)	

Группа 4: Горючие отходы, приготовленные из предварительно обработанных и сортированных фракций отходов

Категория отходов	**Описание отхода**	**Опасность**
Категория 15	Отходы упаковки, поглотители, ветошь, фильтровальные ткани, защитные чехлы	
15 01 06	Смешанная упаковка	
Категория 19	Отходы физико-химической обработки отходов (включая удаление хрома, децианизацию и нейтрализацию)	
19 02 10	Горючие отходы кроме тех, которые упомянуты в 19 02 08 и 19 02 09	
19 12 10	Горючие отходы из предварительно обработанных отходов	
Категория 20	Муниципальные отходы(отходы домашнего хозяйства и такие же отходы производственные отходы, включая фракционированный материал)	
20 03 01	Смешанные отходы	

Группа 5: Резина/покрышки

Категория отходов	**Описание отхода**	**Опасность**
Категория 16	Отходы, не упомянутые в этом списке	
16 01 03	Изношенные автопокрышки	
16 01 04	Отходы резины (конвейерные ленты и пр.)	
16 02 16	Элементы списанного оборудования, кроме упомянутых в 16 02 15	

Группа 6: Промышленные шламы (осадки на фильтре, при центрифугировании, сушке и пр.)

Категория отходов	**Описание отхода**	**Опасность**
Категория 03	Отходы обработки древесины, производства бумаги, картона, пульпы, панелей, фурнитуры	
03 03 02	Неперебродивший ил	
Категория 04	Отходы кожевенного, мехового и текстильного производств	
04 02 19	Шламы от очистки сточных вод на месте, содержащие опасные вещества	✸

04 02 20	Шламы от очистки сточных вод на месте кроме упомянутых в 04 02 19	
Категория 05	Отходы рафинирования нефти, очистки природного газа и пиролитической обработки угля	
05 01 09	Шламы от очистки сточных вод на месте, содержащие опасные вещества	✸
05 01 10	Шламы от очистки сточных вод на месте, кроме упомянутых в 05 01 09	
Категория 06	Отходы от неорганических химических процессов	
06 05	Шламы от очистки сточных вод на месте	
Категория 07	Отходы от органических химических процессов	
07 xx 11	Шламы от очистки сточных вод на месте, содержащие опасные вещества	✸
07 xx 12	Шламы от очистки сточных вод на месте, кроме упомянутых в 07xx 11	
Категория 08	Отходы производства, изготовления, поставки и использования покрытий (красок, лаков, стеклоэмалей, клеев, герметиков и красок для печати	
Категория 10	Неорганические отходы термических производств	
Категория 11	Отходы от металлообработки и металлических покрытий и гидрометаллургии цветных металлов	
Категория 12	Отходы формования и обработки поверхности металлов и пластиков	
Категория 13	Отходы переработки масел (кроме пищевых масел 05 и 12)	
Категория 14	Отходы органических веществ, используемых в качестве растворителей (кроме 07 и 08)	

Группа 7: Шламы муниципальных сточных вод

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 19	Отходы установок для переработки отходов, шламы от очистки сточных вод и водоподготовки	
19 03 07	Отвержденные отходы, кроме упомянутых в 19 03 06 (используемых для окусковывания)	
19 02 05	Шламы физико-химической обработки, содержащие опасные вещества	✸
19 02 06	Шламы физико-химической обработки, кроме упомянутых в 19 02 05	
19 08 05	Шламы обработки городских сточных вод	

Группа 8: Животная мука, жир

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 02	Отходы сельского хозяйства, садоводства, водного хозяйства, лесного хозяйства, охоты, рыболовства, пищевой промышленности	
02 01 02	Животная мука	
02 02 02	Животный жир	

Группа 9: Отходы угля / углерода

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 05	Отходы рафинирования нефти, очистки природного газа и пиролитической обработки угля	
05 06 01	Деготь	✸
05 06 02	Асфальт	
Категория 19	Отходы установок для переработки отходов, шламы от очистки сточных вод на месте и водоподготовки	
19 01 10	Удаленный из дымовых газов активированный углерод	
19 01 17	Отходы пиролиза	✸
19 09 04	Активированный углерод	

Группа 10: Сельскохозяйственные отходы

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 02	Отходы сельского хозяйства, садоводства, водного хозяйства, лесного хозяйства, охоты, рыболовства, пищевой промышленности	
02 01 03	Текстильные отходы	
02 01 05	Отходы агрохимии	✸
02 01 07	Отходы лесного хозяйства	
Категория 03	Отходы обработки древесины, производства панелей, фурнитуры, бумаги, картона	
03 01 01	Отходы коры и пробки	
03 03 01	Кора	

Группа 11: Горючие твердые отходы

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 03	Отходы обработки древесины, производства панелей, фурнитуры, бумаги, картона	
03 01 02	Пропитанные опилки	
Категория 19	Отходы установок для переработки отходов, шламы от очистки сточных вод и водоподготовки	
19 12 11	Другие отходы (включая смесь материалов) от механической обработки отходов, содержащих опасные вещества	✸

Группа 12: Растворители и подобные отходы

Категория отходов	Описание отхода	Опасность
Категория 02	Отходы сельского хозяйства, садоводства, водного хозяйства, лесного хозяйства, охоты, рыболовства, пищевой промышленности	
02 03 03	Отходы экстракции растворителя	
Категория 07	Отходы от процессов органической химии	
07 01 04	Прочие органические растворители, моющие средства	✸
07 01 08	Донные осадки и продукты реакции	✸
07 03 04	Прочие органические растворители, моющие средства	✸
07 03 07	Галоидозамещенные донные осадки и продукты реакции	✸
07 03 08	Донные осадки и продукты реакции	✸
07 04 03	Органические галоидозамещенные растворители, моющие средства	✸
07 04 04	Прочие органические растворители, моющие средства	✸
07 04 07	Галоидозамещенные донные осадки и продукты реакции	✸
07 04 08	Донные осадки и продукты реакции	✸
07 05 03	Органические галоидозамещенные растворители, моющие средства	✸
07 05 04	Прочие органические растворители, моющие средства	✸
07 05 07	Галоидозамещенные донные осадки и продукты реакции	✸
07 05 08	Донные осадки и продукты реакции	✸
07 06 03	Органические галоидозамещенные растворители, моющие средства	✸
07 06 04	Прочие органические растворители, моющие средства	✸
07 06 07	Галоидозамещенные донные осадки и продукты реакции	✸
07 06 08	Донные осадки и продукты реакции	✸
07 07 03	Органические галоидозамещенные растворители, моющие средства	✸
07 07 04	Прочие органические растворители, моющие средства	✸
07 07 07	Галоидозамещенные донные осадки и продукты реак-	✸

	ции	
07 07 08	Донные осадки и продукты реакции	✸
Категория 08	Отходы производства, изготовления, поставки и использования покрытий(красок, лаков ,стеклянных эмалей, клеев ,герметиков и красок для печати)	
08 01 11	Отходы красок и лаков, содержащие органические растворители или другие опасные вещества	✸
08 01 12	Другие кроме упомянутых в 08 01 11 отходы красок и лаков	
08 01 21	Отходы средств для удаления красок и лаков	✸
08 03 01	Отходы чернил, содержащие галоидозамещенные растворители	✸
08 03 02	Отходы чернил, содержащие негалоидозамещенные растворители	✸
08 03 10	Отходы органических растворителей, используемых для очистки поверхностей	✸
08 04 09	Отходы клеев и герметиков , содержащие органические растворители или другие опасные вещества	✸
08 05 01	Отходы изоцианидов	✸
Категория 09	Отходы фотографии	
09 01 03	Проявители на основе растворителя	✸
Категория 14	Отходы органических веществ, используемых в качестве растворителей, кроме 07 и 08	
14 01 02	Прочие галоидозамещенные растворители и их смеси	✸
14 01 03	Прочие растворители и их смеси	✸
14 02 01	Галоидозамещенные растворители и их смеси	✸
14 02 02	Смеси растворителей или органических жидкостей, не содержащих галоидозамещенных растворителей	✸
Категория 19	Отходы установок для переработки отходов, шламы от очистки сточных вод на месте и водоподготовки	
19 02 08	Жидкие горючие отходы, содержащие опасные вещества	✸
Категория 20	Муниципальные отходы(отходы домашнего хозяйства и такие же отходы производственные отходы, включая фракционированный материал)	
20 01 13	Растворители	✸
20 01 27	Краски, чернила, клеи и смолы, содержащие опасные вещества	✸
20 01 28	Краски, чернила, клеи и смолы, отличные от упомянутых в 20 01 27	✸

Группа 13: Нефть и нефтяные загрязнения

Категория отходов	**Описание отхода**	**Опасность**
Категория 01	Отходы от исследования, добычи, обогащения и дальнейшей обработки минералов и карьеров	
Категория 04	Отходы кожевенного, мехового и текстильного производства	
Категория 05	Отходы рафинирования нефти, очистки природного газа и пиролитической обработки угля	
Категория 12	Отходы формования, физической и механической обработки поверхности металлов и пластика	
Категория 13	Отходы переработки масел(кроме пищевых масел 05 и 12)	
13 01 01	Масла (включая эмульсии), тормозные жидкости	✸
13 01 02	Прочие хлорированные гидравлические масла(кроме эмульсий)	✸
13 01 03	Прочие не хлорированные гидравлические масла (кроме эмульсий)	✸
13 01 04	Хлорированные эмульсии	✸

13 01 05	Нехлорированные эмульсии	*
13 01 06	Гидравлическое масло, содержащее только минеральное масло	*
13 01 07	Прочие гидравлические масла	*
13 01 08	Тормозные жидкости	*
13 02 01	Хлорированные машинные и смазочные масла	*
13 02 02	Нехлорированные машинные и смазочные масла	
13 02 03	Прочие машинные и смазочные масла	*
13 03 01	Изоляционные или теплопроводящие масла и прочие жидкости, содержащие полихлорированные дифенилы	*
13 03 02	Прочие изоляционные или теплопроводящие масла и прочие жидкости	*
13 03 03	Нехлорированные изоляционные или теплопроводящие масла и прочие жидкости	*
13 03 04	Синтетические изоляционные или теплопроводящие масла и прочие жидкости	*
13 03 05	Минеральные изоляционные или теплопроводящие масла	*
13 04 01	Трюмное масло при материковой навигации	*
13 04 02	Трюмное масло пристаней	*
13 04 03	Трюмное масло при прочих видах навигации	*
13 05 01	Осадки сепараторов масло/вода	*
13 06 01	Масляные отходы, не упомянутые выше	*

Группа 14: Прочие

4.2.2 Цементное производство – характеристики отдельных предприятий

4.2.2.1 Примеры используемых отходов, их влияние на выбросы и диапазон концентраций веществ в отходах (критерий воздействия)

В табл. 4.2 приведены примеры вида и количества отходов, используемых в печах германских цементных заводов. Часто эти отходы содержат опасные вещества

Таблица 4.2 Виды и количества отходов и горючих отходов, используемых в печах германских цементных заводов в 2004 г. [76]

Виды горючих отходов	Израсходовано в 2004 г., тыс.т.
Покрышки/резина	290
Отходы нефтепродуктов	100
Промышленные отходы	863
Бытовые отходы	157
Животная мука и жир	439
Древесные отходы	42
Растворители	72
Отбеливающая глина	11
Осадок сточных вод	48
Прочие	20
Итого	2042

В табл. 4.3 приведены различные виды используемых твердых и жидких горючих отходов, которые часто содержат опасные вещества

Таблица 4.3 Количество различных горючих отходов, использованных в немецкой цементной промышленности, содержащих опасные вещества [76]

Виды топлива	Количество, тыс.т.

		2003 г.	2004 г.
	Жидкие горючие отходы		
Отходы нефтепродуктов	Смешанные отходы (опасные)	116	100
Использованные растворители	Смешанные отходы, каждый отдельный отход в смеси должен декларироваться в соответствии с кодом отходов (опасных)	48	72
	Твердые горючие отходы		
Изношенные автопокрышки	Отдельный отход	247	290
Древесина	Смешанный отход, каждый отдельный отход в смеси должен декларироваться в соответствии с кодом отходов(может быть опасным)	48	42
Животная мука	Отдельный отход	452	439
Осадок сточных вод	Отдельный отход	4	48
Отбеливающая глина	Отдельный отход (опасный)	20	11
Специальные отходы	Смешанные отходы, каждый отдельный отход в смеси должен декларироваться в соответствии с кодом отходов	626	862
Отдельные фракции смешанных муниципальных отходов	Качество топлива зависит от технологии подготовки	155	157

В 2006 г. один из немецких цементных заводов достиг устойчивого использования 80 % отходов, причем за счет содержащейся в горючих отходах энергии было получено 100 % необходимой энергии. Здесь при технологической схеме сухого способа, включающей вращающуюся печь с четырехступенчатым двухветвевым теплообмененикoм и планетарным холодильник, горючие отходы используются в течение многих лет. Это главным образом изношенные автопокрышки, отходы нефтепродуктов, древесина, отдельные виды таких промышленных отходов, как пластики, бумага или текстиль и растворители. В табл. 4.4 приведены допустимые значения содержания химических элементов в использованных отходах и растворителях.

Таблица 4.4 Допустимые содержания химических элементов в использованных промышленных отходах и растворителях [76]

Хим.элемент	Единица измерения	Промышленные отходы	Растворители
S	%	2	3[1)]
Cl	%	1	1
Cd	мг/кг|	10	10[2)]
Tl	мг/кг	1	0,5
Hg	мг/кг	0,5	1
Sb	мг/кг	75	5
As	мг/кг	10	20
Pb	мг/кг	100	700[3)]
Cr	мг/кг	100	100
Co	мг/кг	20	300
Cu	мг/кг	300	5
Mn	мг/кг	100	1000
Ni	мг/кг	100	10
V	мг/кг	25	0,5
Sn	мг/кг	75	1

[1)]Средняя годовая 1мг/кг
[2)]Средняя годовая 5мг/кг

[3)]Средняя годовая 300мг/кг

В табл. 4.5 и 4.6 приведены результаты годового мониторинга выбросов. Во время измерений за счет горючих отходов было получено более 80 % энергии. Уровень выбросов при этом несколько повышается.

Таблица 4.5 Результаты измерений выбросов на печи немецкого цементного завода, использующего в качестве топлива горючие отходы (средние данные за трехсуточный период) [76]

Параметр	Единица измерения	Число и период измерений		
		1 08:00-18:00	2 08:00-18:00	3 08:00-18:00
Ископаемое топливо				
Основное топливо (угольная пыль)	т/ч	2,9	3,3	2,4
Горючие отходы				
Покрышки	т/ч	3,4	3,4	3,4
Растворитель – 1 линия	т/ч	3,0	3,0	3,0
Растворитель – 2 линия	т/ч	3,0	3,0	3,0
Пластик/древесина	т/ч	6,3	6,3	6,3
Питание печи				
Сырьевая мука	т/ч	200	200	200
Теплотворная способность				
Уголь	МДж/кг	26,8	26,8	26,8
Покрышки	МДж/кг	26,0	26,0	26,0
Растворитель – 1 линия	МДж/кг	27,7	27,7	27,7
Растворитель – 2 линия	МДж/кг	26,6	26,6	26,6
Пластик/древесина	МДж/кг	19,0	19,0	19,0
% потребляемой энергии				
Уголь	%	17	19	15
Покрышки	%	20	19	20
Растворитель – 1 линия	%	19	18	19
Растворитель – 2 линия	%	18	17	18
Пластик/древесина	%	27	28	27
Всего горючих отходов	%	83	81	85
Итого	%	100	100	100
Продукция				
Клинкер	т/ч	121	121	121
Мощность	%	97	97	97

Таблица 4.6 Результаты мониторинга выбросов из печи немецкого цементного завода, использующего горючие отходы [76]

Компонент	Единица измерения	Результаты (средние)[1)]	
		На входе в мельницу	На выходе из мельницы
Температура	^{0}C	106	156
Влажность	% (объёмные)	17	17
Объем потока	м^3/ч	275900	2391000
Пыль	мг/нм^3	3[2)]	
NO_x	мг/нм^3	385[2)]	
SO_x	мг/нм^3	18[2)]	
HCl	мг/нм^3	Нет данных	
HF	мг/нм^3	0,09[3)]	0,06[3)]
Hg	мг/нм^3	0,009[3)] < 0,01[2)]	0,033[3)] < 0,002[2)]
∑(Cd, Tl)	мг/нм^3	Нет данных	

∑(Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	мг/нм^3	0,055[3)]	0,071[3)]
∑(As, бензопирен, Cd, Co, Cr)	мг/нм^3	Нет данных	
Общий органический углерод	мг/нм^3	8	9
ПХДД и ПХДФ	нг-ITEQ/нм^3	Нет данных	
Бензол	мг/нм^3	< 1[4)]	

[1)]Стандартные условия 1013 Па, 273К, после вычитания паров воды, при содержании O_2 10 %(об.)
[2)]средние за год при непрерывных измерениях
[3)]средние за 30 мин. период

В качестве примера рассматривается эстонский цементный завод, использующий в качестве топлива однородную смесь жидких нефтепродуктов. В том случае, когда эта смесь отвечает требованиям, приведенным в табл. 4.7, её называют горючими отходами с особым названием и рассматривают как дополнительное топливо для цементной печи. определенный объём жидких горючих отходов подготавливают перед отправкой к конечному потребителю как одну партию и снабжают сертификатом качества. Примеры результатов анализа характеристик отходов приведены в табл. 4.8. Примеры требований к качеству отходов приведены в табл.4.9.

Таблица 4.7 Перечень требований к отходам, используемым в качестве топлива на эстонском цементном заводе [75]

Перечень требований к топливу из отходов VA [1)]

№	Характеристика	Единица измерения	Пределы значений
Анализ каждой партии поставщиком			
1	Теплотворная способность при получении	МДж/кг	> 17
2	Содержание воды при получении	% по массе	< 35; свободная вода отсутствует
3	Содержание золы	% по массе	< 15
4	Температура вспышки	^{0}C	> 60
5	Содержание частиц < 5мм	мм	отсутствуют
6	Плотность при 15 ^{0}C	кг/нм^3	Не нормируется
7	Вязкость при 40 ^{0}C	сСт	Должна гарантировать выгрузку из транспорта и приемку без принятия дополнительных мер
8	Взаимодействие с нефтяным сланцем при сплавлении (коагуляция, выделение газов, экзотермическая реакция)		Отсутствует
Анализ поставщика каждых 500 нм^3 топлива или не менее одного раза в год			
8	Сера(S)	% по массе	< 2
9	Общее содержание галогенов Cl+Br+F+I	% по массе	< 1
10	Металлы:		
	Cd+Tl	Частей на миллион	< 15
	Hg		< 5
	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V		< 2500
Анализ поставщика каждых 2000 нм^3 топлива или не менее одного раза в год			
11	Полихлорированные бифенилы	Частей на миллион	< 50

1) Специально приготовленное топливо VA – жидкая однородная смесь опасных горючих отходов на основе отработанных топлив и отходов нефтепереработки

Таблица 4.8 Анализ характеристик материала, полученного сплавлением с нефтяным сланцем [75]

Характеристика	Единица измерения	Результат определений
Высшая теплотворная способность	кДж/кг	15072
Низшая теплотворная способность	кДж/кг	9211
Содержание твердой фазы в сухом веществе	%	24,3 (100)
Содержание углерода (С)	%	24,7
Содержание серы (S)	%	5,3
Прочие горючие твердые вещества	%	20,6
Зола (негорючая)	%	49,4
Органическая жидкость	%	36,6(100)
Бензин	%	30,3
Нефть	%	69,4
Фенолы	%	0,3
Полихлорированные бифенилы	%	0,5
Содержание воды	%	0,5
Плотность	кг/л	1,15
Температура вспышки	^{0}С	70
Зола (негорючий остаток)		
Хлор	%	Следы
Щелочи (Na+K)	%	2
Калий (К)	%	
Ca	%	38,5
Si	%	28,8
Cu	%	Следы
Mg	%	6,5
Fe	%	6,1
P	%	0,2
Al	%	7,7
Cd	%	следы
V	%	следы
Pb	%	следы
Zn	%	следы
Cr	%	следы
Ni	%	следы
S	%	8,7
Ti	%	0,4
Прочие	%	1,1

Таблица 4.9 Требования к характеристикам качества отхода, используемого в качестве топлива на эстонском цементном заводе [75]

Характеристика	Единица измерения	Требование
Температура доставки	^{0}С	90
Вязкость при 80 ^{0}С	сСт	5,5-6,0
Вязкость при 100 ^{0}С	сСт	3,6-4,2
Низшая теплотворная способность	МДж/кг	Не ниже 26
Плотность	кг/м^3	1130-1140
Температура вспышки в открытом тигле	^{0}С	не ниже 130
Температура плавления	^{0}С	до 50
Содержание золы	%	до 0,5
Механические примеси крупнее 3мм	%	до 2,0
Содержание воды	%	до 4,0
Кислотность	мг КОН/г	до 260
Химический состав		
S	%	до 0,2
Cl	%	до 0,1

Тяжелые металлы: Na+K+Mn+V+ Co+Ni+Cu+Pb+Zn	%	до 0,005

В табл. 4.10 проиллюстрирован объём потребления на эстонском цементном заводе отходов в качестве топлива.

Таблица 4.10 Потребление горючего отхода в качестве топлива на эстонском цементном заводе [75]

	Потребление горючих отходов (т/год)				
	Жидкие				Твердые
Год	Нефтяной сланец	Нефтяные отходы	Бензойная кислота	Сумма	Полукокс нефтяного сланца
2000	-	365	-	365	-
2001	4415	1223	-	5638	9366
2002	16809	3322	-	20131	10013
2003	16304	4020	-	20324	27503
2004	19921	5643	1500	27064	15300
2005	19242	4552	3312	27106	-

4.2.2.1.1 Примеры диапазонов концентраций веществ, вносимых с отходами

В табл. 4.11 - 4.13 приведены примеры диапазонов типичных концентраций металлов, вносимых с различными отходами, используемыми в качестве топлива и/или сырья на различных цементных заводах нескольких стран.

Таблица 4.11 Предельные значения содержания химических элементов в разрешениях и регламентах на использование отходов в Австрии, Швейцарии и Германии [104, 168]

Химический элемент	Австрия			Швейцария		Германия	
	Горючие отходы[1) 6)] в целом	Пластик, бумага, текстиль, древесина и проч. высококалорийные отходы	Растворители, нефтяные отходы, отходы лаков	Горючие отходы [2)6)] в целом	Прочие отходы	Пластик, бумага, Текстиль, древесина и проч. высококалорийные отходы [3)]	Растворители
	Максимальные значения, мг/кг						
As	15	15	20	15	-	13	15
Sb	5	20 (200)[4)]	100	5	800[1)]	120	20
Be	5	-	-	5	-	2	2
Pb	200	500	800	200	500	400	150
Cd	2	27	20	2	5	9	4
Cr	100	300	300	100	500	250	50
Cu	100	500	500	100	600	700	180
Co	20	100	25	20	60	12	25
Ni	100	200	-	100	80	160	30
Hg	0,5	2	2	0,5	5[5)]	1,2	1
Tl	3	10	5	3	-	2	2
V	100	-	-	100	-	25	10
Zn	400	-	-	400	-	-	-
Sn	10	70	100	10	-	70	30
Cl (общ)	1 %	2 %	-	-	-	1,5 %	-
Полихлорированные бифенилы	50	-	100	-	-	-	-

[1)] Теплотворная способность 25МДж/кг
[2)] Теплотворная способность 18 МДж/кг
[3)]Полиэтилен терефталат
[4)] Полиэтилен терефталат
[5)]Очистка дымовых газов от Hg
[6)]Прочие горючие отходы

Таблица 4.12 Примеры предельных значений характеристик горючих отходов, допустимых в различных странах [104, 182]

Характеристика	Единица измерения	Испания	Бельгия	Франция
Теплотворная способность	МДж/кг	-	-	-
Галогены (как Cl)	%	2	2	2
Cl	%	-	-	-
F	%	0,2		
S	%	3	3	3
Ba	мг/кг	-	-	-
Ag	мг/кг	-	-	-
Hg	мг/кг	10	5	10
Cd	мг/кг	50/100	70	-
Tl	мг/кг	50/100	30	-
∑ Hg+Cd+Tl	мг/кг	100	-	100
Sb	мг/кг	-	200	-
∑Sb+As+Co+Ni+Pb+Sn+V+Cr	мг/кг	0,5 %	2500	2500

As	мг/кг	-	200	-
Co	мг/кг	-	200	-
Ni	мг/кг	-	1000	-
Cu	мг/кг	-	1000	-
Cr	мг/кг	-	100	-
V	мг/кг	-	1000	-
Pb	мг/кг	-	1000	-
Sn	мг/кг	-	-	-
Mn	мг/кг	-	2000	-
Be	мг/кг	-	50	-
Se	мг/кг	-	50	-
Te	мг/кг	-	50	-
Zn	мг/кг	-	5000	-
Полихлорированные бифенилы	мг/кг	30	30	25
ПХДД и ПХДФ	мг/кг	-	-	-
Br+I	мг/кг	-	2000	-
Цианиды	мг/кг	-	100	-

Таблица 4.13 Примеры предельных значений концентраций примесей в отходах, используемых в качестве сырья, допустимых в различных странах [104]

Характеристика	Единица измерения	Испания	Бельгия	Франция	Швейцария
Общий органический углерод	мг/кг	2 %	5000	5000	-
Галогены (как Cl)	%	0,25	0,5	0,5	-
F	%	0,1	-	-	-
S	%	3	1	1	-
Hg	мг/кг	10	-	-	0,5
Cd	мг/кг	100	-	-	0,8
Tl	мг/кг	100	-	-	1
∑ Hg+Cd+Tl	мг/кг	100	-	-	-
Sb	мг/кг	-	-	-	1
∑Sb+As+Co+Ni+Pb+Sn+V+Cr	мг/кг	0,5 %	-	-	-
As	мг/кг	-	-	-	20
Co	мг/кг	-	-	-	30
Ni	мг/кг	-	-	-	100
Cu	мг/кг	-	-	-	100
Cr	мг/кг	-	-	-	100
V	мг/кг	-	-	-	200
Pb	мг/кг	-	-	-	50
Sn	мг/кг	-	-	-	50
Mn	мг/кг	-	-	-	-
Be	мг/кг	-	-	-	3
Se	мг/кг	-	-	--	1
Te	мг/кг	-	-	-	-
Zn	мг/кг	-	-	-	400
Полихлорированные бифенилы	мг/кг	30	-	-	1
pH	мг/кг	-	-	-	-
Br+I	мг/кг	-	-	-	-
Цианиды	мг/кг	-	-	-	-

В табл. 4.14 И 4.15 приведены примеры диапазонов изменения содержания в отходах, используемых германскими цементными заводами.

Таблица 4.14 Примеры изменения концентраций металлов в горючих отходах [60]

Элемент	Концентрация, мг/МДж
Pb	0,09-25
Cd	0,01-0,7
Cr	0,09-21
Ni	0,1-25
Hg	0,01-0,1
Tl	< 0,01-0,1
Zn	0,5-625

Таблица 4.15 Примеры концентрации металлов при использовании отходов в печах германских цементных заводов [76]

Металл	Концентрация,мг/кг
As	13
Cd	9
Co	12
Cr	250
Cu	700
Hg	0,5-1
Mn	500
Ni	100
Pb	400
Sb	120
Tl	1-2
V	25
Sn	70

В табл. 4.16 и 4.17 приведены значения допустимых концентраций химических элементов, вносимых с отходами на цементных заводах Австрии. В ряде случаев выбор в качестве топлива отхода и его дозировки основывается на т.н. позитивном перечне, который принимает сама цементная промышленность. Кроме того, в некоторых случаях местные власти устанавливают более жесткие критерии. Почти все допустимые значения имеют максимальный предел, часто связанный с теплотворной способностью, а другие – с видом горючих отходов. Кроме максимального значения каждый показатель имеет среднее значение и значение, соответствующее 80 % максимального.

В табл. 4.18 и 4.19 приведены примеры концентраций веществ в отходах, используемых на цементных заводах Франции (минимальные и максимальные значения), Испании и Польши.

Таблица 4.16 Примеры допустимых концентраций (максимальные значения) химических элементов при использовании отходов на австрийских цементных заводах [161, 168, 170]

Химический элемент	Горючие отходы с теплотворной способностью 25МДж/кг, кроме осадка сточных вод	Бумага и осадок сточных вод	Нефтяные отходы и отходы растворителей, лаков,	Пластики с высокой теплотворной способностью	Отходы древесины	Изношенные автопокрышки	Бумага	Резина	Животная мука
	Максимальные значения(мг/кг сухого вещества								
As	15	5-10	10-20	15	15	-	0,5	36	0,3
Sb	200	20	10-100	20-30 (800)	20	-	0,5	8,4	1
Pb	150	100-500	250-800	500	300-800	-	500	33,8	2
Cd	5	3-5	1-20	25-27	10-15	-	5	8	0,1
Cr	150	100-500	50-300	300	70	-	300	97	5
Co	50	50-60	3-25	20-100	14	-	60	128	1
Cu	700	350-600	500	500	100-400	-	600	748	15
Mn	500	700	70-100		150	-	300	4250	30
Ni	100	60	40-100	200	100	-	80	200	1,5
Hg	0,5	2-3	1-2	0,86-2	1	-	0,6	0,4	0,2
Tl	3	3	1-5	3-10	2	-	5	1	0,6
V	100	100	10-100	70	60	-	15	40	1
Zn	-	1000-2000	300-3000	-	1000	20000	2000	11400	150
Sn	50	10-50	-	70	-	-	10	20	1,5
Cl % по массе	1	0,8	1	2	0,5	-	-	-	-
S % по массе	3	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 4.17 Примеры допустимых концентраций (средние и 80 % значения) химических элементов при использовании отходов на австрийских цементных заводах

Химический	Бумага	Нефтяные	Раствори-	Пластики	Отходы	Бумага	Резина	Животная

элемент	и осадок сточных вод	отходы	тели			древесины		мука
	Средние и 80 % значения, мг/кг сухого вещества							
	Среднее	Среднее	Среднее	80 %	80 %	Среднее	Среднее	80 %
As	3,78	12	6	10	10	0,46	16,4	0,2
Sb	4,97	67	6	20	20	0,37	5,72	0,6
Pb	25,5	59	180	150	150	31,85	28	1,5
Cd	1,02	0,5	0,6	15	5	0,63	3,9	0,05
Cr	28	8	30	150	50	12,2	26	3
Co	6,6	1	1,8	15	10	3,6	80	0,4
Cu	160,5	52	300	300	50	10,75	300	12
Mn	350	0,1	42	200	150	287	28,6	25
Ni	22	1	24	100	100	11,1	77	1
Hg	1,2	0,47	0,6	0,6	0,5	0,26	0,02	0,1
Tl	6,69	0,05	0,6	1,5	1	1,11	0,4	0,3
V	16,05	1	6	30	60	6,11	12	0,5
Zn	40,6	390	30	30	20	1,76	10	1
Sn	877	1000	180	-	-	34,9	8597	120
Cl, % по массе	-	0,4	-	-	-	-	-	-
S ,% по массе	-	2	-	-	-	-	-	-
Полихлорированные бифенилы	-	50	-	-	-	-	-	-

Таблица 4.18 Примеры концентраций веществ в отходах, используемыми в качестве топлива на цементных заводах Франции [168, 174]

Параметр	Единица измерения	Пределы значений		Примечание
		Максимальное	Минимальное	
Hg	ч. на млн.	<10	<10	1)
Cu	%	<2	<1	2)

Zn	%	<15	<1
Co	%	<1	
Ni	%	<1	
Mn	%	<1	
Pb	%	<0,6	
∑As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V	ч. на млн.	<10000	<2500
∑As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V+Cu	ч. на млн.		<3500
∑ Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Cd+Tl+Hg	%		<1
∑As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V+Zn+Mn	%		<2
∑ Cd+Hg+Cr+Pb+Sn+V+Co+As+Cu+Mn+Mo+Tl+Ni	%		<1
Сера	%	<12	<0,5
Полихлорированные бифенилы/тер-фенилы	ч. на млн.	<50	<50
Пентахлорфенол	ч. на млн.	<50	
Общий Cl	%	<4	<1
Br+I+F	%		<0,5
Na_2O+K_2O	%	<15	<0,8
P_2O_5	%	<15	<0,75

[1)]Содержание 10 ч. на млн. допускается на всех цементных заводах

[2)]Большинство цементных заводов имеет предел содержания летучих 100 ч. на млн.

Таблица 4.19 Примеры концентраций веществ в отходах, используемыми в качестве топлива на цементных заводах Испании и Польши [168, 174]

Параметр	Единица измерения	Испания			Польша		
		Нац. законод.	Завод 1	Завод 2	Нац. законод.	Завод 1	Завод 2
Hg	ч. на млн.	н.н	10		н.н	н.н	н.н
∑Hg+Cd+Tl	ч. на млн.	н.н	100	100	н.н	н.н	н.н
∑Sb+As+Pb+ Cr+Co+Cu+Ni+ Mn+V	ч. на млн.	н.н	5000	10000	н.н	н.н	н.н

Примечание: н.н = норма отсутствует

Таблица 4.20 Максимальная концентрация примесных веществ в отходах [168, 174]

Параметр	Единица измерения	Максимальная дозировка
Сера	% (масс.)	1,5
Хлор	% (масс.)	2,0
Фтор	% (масс.)	0,5
Бром	% (масс.)	0,5
Иод	% (масс.)	0,2
Ртуть	ч на млн.	10
Кадмий+Таллий	ч на млн.	30
Сурьма	ч на млн.	300
Мышьяк	ч на млн.	60
Хром	ч на млн.	200
Кобальт	ч на млн.	100
Медь	ч на млн.	300
Свинец	ч на млн.	500
Марганец	ч на млн.	250
Никель	ч на млн.	500
Олово	ч на млн.	200
Ванадий	ч на млн.	50
Полихлорированные бифенилы	ч на млн.	10
Пентахлорфенол	ч на млн.	20
Твердые вещества	% (масс.)	15
Зола	% (масс.)	10
Вода	% (масс.)	20

4.2.2.2 Примеры потребления тепловой энергии

На австрийских цементных заводах для покрытия потребности в тепловой энергии используют как традиционное топливо, так и горючие отходы, при этом потребление топливных отходов с 1997 по 2004 г. непрерывно растет (табл. 4.21).

Таблица 4.21 Потребление топлива в австрийской цементной промышленности [92]

Топливо	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
	т/год							
Уголь	200241	159331	131580	166965	149354	76504	70523	72218
Лигнит	7434	4335	11774	35023	38855	62908	69786	62551
Мазут	53423	46762	45081	17574	11004	11714	12363	14909
Газ[1)]	12618	11595	12394	13438	11343	10735	8727	8528
Нефтяной кокс	3275	11692	24021	10367	8648	51882	50089	57447

Прочее ископаемое топливо	0	0	0	0	0	0	82	1028
Всего ископаемое топливо	273347	233171	221271	239486	215928	210643	209050	213916
Вторичное топливо	101063	121719	135065	169888	218048	238959	267822	274032
Всего топлива	374411	354890	356336	409374	433976	449602	476872	487948

[1)] 1000 м^3/год

4.2.2.3 Примеры величины выбросов

В табл. 4.22 приведены величины выбросов эстонского цементного завода в 2006 г.

Наименование источника загрязняющего вещества		Выбросы, т/год	
		Допустимые:	Реальные:
Всего пыли		542,98	245,5
Пыль образуется в следующих источниках:	Вращающаяся печь в особом режиме	420,0	89,84
	Вращающаяся печь в обычном режиме	149,60	71,11
	Мельницы для измельчения нефтяного сланца	21,60	8,66
	Холодильники клинкера	178.60	63,23
	Дробление известняка	5,04	0,86
	Цементные мельницы	7,56	2,25
	Цементные мельницы с сепаратором	2,52	0,80
	Упаковочная машина цемента	1,08	0,44
	Добыча известняка	50,96	2,5
	Хранилище отходов	4,32	1,02
	Добыча нефтяного сланца	1,44	0,35
	Порт (различные материалы)	114,50	2,85
SO_2		5762,70	1696,63
SO_2 образуется в:	Вращающихся печах	5760,00	1696,63
	Мельницах нефтяного сланца	2,70	-
NO_x (рассчитывается как NO_2)		3072,6	576,57
NO_x образуется в:	Вращающихся печах	2880,00	534,37
	Мельницах нефтяного сланца	43,2	15,76
	ТЭЦ	149,4	26,44
CO		3072,60	510,43
CO образуется в:	Вращающихся печах	4608,00	460,00
	Мельницах нефтяного сланца	10,8	7,72
	ТЭЦ	149,4	42,71
CO_2		787333	745620
Хлористый водород		247,60	5,03
Фтористый водород		12,68	-
Летучие органические вещества		307,44	26,17
Тяжелые металлы		20,32	0,08

Пылевыбросы

В табл. 4.23 приведены данные о выбросах пыли фракций «10» и «2,5» мкм ирландскими цементными заводами.

Таблица 4.23 Выбросы пыли фракций «10» и «2,5» мкм ирландскими цементными заводами [113, 182]

	Источник	Фракция пыли	Концентрация			Пылевыброс, кг/ч
			Выброшенная пыль, мг/нм^3	В пересчете на содержание O_2 10 %	Стандартные условия	
Завод № 1	Сырьевая мельница, электрофильтр	«10»	2,67[1)]	2		0,7684
		«10»	2,65[2)]	2		0,7237
	Колосниковый холодильник	«10»	7[2)]			1,4782
		«10»	7[2)]			1,6866
	Угольная мельница	«10»	9,33[3)]	9		0,2979
		«10»	10,1[3)]	10		0,3085
	Цементная мельница, тканевый фильтр	«10»	107[4)]			4,38
		«10»	73[4)]			3,00
	Сепаратор цементной мельницы тканевый фильтр	«10»	3[5)]			0,4095
		«10»	0[5)]			0
	Тканевый фильтр дымососа	«10»		0,007-0,302		
Завод № 2	Цементная мельница, тканевый фильтр	«10»			3,33	
		«2,5»			<1,1	
	Угольная мельница, тканевый фильтр	«10»			3,33	
		«2,5»			3,33	
	Сырьевая и цементная мельницы, электрофильтр	«10»			2,22	
		«2,5»			5,56	
	Питание печи, тканевый фильтр	«10»			1,11	
		«2,5»			2,22	
	Конвейер клинкера, тканевый фильтр	«10»			1,11	
		«2,5»			1,11	
	Тканевый фильтр	«10»			1,11-7,78	
		«2,5»			1,11-2,22	
	Цементная мельница	«10»			5,56-3,33	
		«2,5»			1,11-2,22	
	Силосы	«10»			1,11	
		«2,5»			<3,33-1,11-	
	Питательный конвейер угольной мельницы	«10»			4,44	
		«2,5»			3,33	
	Дробилка вторичного дробления	«10»			1,11	
		«2,5»			<1,1	

[1)] Содержание O_2 7%,температура 139^{0}С,скорость газа 280397 нм^3/ч,3925558 нм^3/сут
[2)] Содержание O_2 20,9%,температура 216^{0}С,скорость газа 225272 нм^3/ч,2703269 нм^3/сут
[3)] Содержание $O_2$10%,температура 86^{0}С,скорость газа 31241 нм^3/ч,656063 нм^3/сут
[4)] Содержание O_2 20,9%,температура 110^{0}С,скорость газа 40901 нм^3/ч,940739 нм^3/сут
[5)] Содержание O_2 20,9%,температура 86^{0}С,скорость газа 136940 нм^3/ч,2191046 нм^3/сут

Сбросы в воду

На рассматриваемом в качестве примера использующем технологию мокрого способа эстонском цементном заводе в 2005 г. было израсходовано 602000 м^3 воды, которую использовали в грязе- и мазутосборниках. В технологическом процессе вследствие приготовления сырьевого шлама и использования мазутосборников сбросы в воду возрастают. Сбросы в воду и количества загрязняющих веществ в сточных водах эстонского цементного завода приведены в табл. 4.24

Таблица 4.24 Количество загрязняющих веществ в сточных водах эстонского цементного завода [75]

Загрязняющее вещество	Единица измерения	Шлам и мазутосборник	
		2004 г.	2005 г.
Биологическая потребность в кислороде	мг/л	5	7
Суспендированные твердые вещества	мг/л	8,3	11
Суммарный азот	мг/л	1,8	1,4
Суммарные фосфаты	мг/л	0,08	0,057
Сульфаты	мг/л	-	-
Фенолы одноосновные	мг/л	0,019	< 0,5
Фенолы двухосновные	мг/л	0,0053	< 0,5
Мазут	мг/л	0,03	0,01
Химическая потребность в кислороде	мг/л	54	-

4.2.3 Производство цемента – генерация дополнительной энергии/рекуперация избыточного тепла

4.2.3.1 Преобразование в электроэнергию посредством традиционного процесса испарения – цементный завод в г. Слите (Швеция)

Первоначально рассчитанный на производство 6000 т/сутки клинкера, включающий две печных линии цементный завод в г. Слите (остров Готланд, Швеция), постоянно увеличивал производительность и довёл её до 7000 т/сутки. Температура отходящих газов на выходе из запечного циклонного теплообменника составляет около 440 ^{0}С. В дальнейшем на заводе удалось снизить влажность исходного сырья на 2-3 %. Для сухого дробления требуется только часть печного тепла.

Рекуперированное тепло подаётся на расположенную рядом электростанцию, управляемую третьей компанией, которая использует паровую турбину для выработки электричества. Пар образуется в двухступенчатой рекуперационной системе котлов, одна ступень находится в клинкерном холодильнике, другая – в нижнем газоходе печи. С помощью установки, показанной на рис 4.1, завод способен обеспечить подачу водяного пара соответственного качества:

- клинкерный холодильник, использующий отходящий газ в качестве источника неиспользованного тепла (с температурой приблизительно 330 ^{0}С)
- электростатический осадитель газового потока в клинкерном холодильнике
- котлы неиспользованного сбрасываемого тепла клинкерного холодильника с циркуляцией водяного пара

- второй котел неиспользованного тепла установлен в башне запечного теплообменника отходящего газа, характеризуется высоким содержанием пыли
- турбина и генератор, в которых генерируется энергия
- конденсатор с морской водой для вторичного охлаждения водяного пара

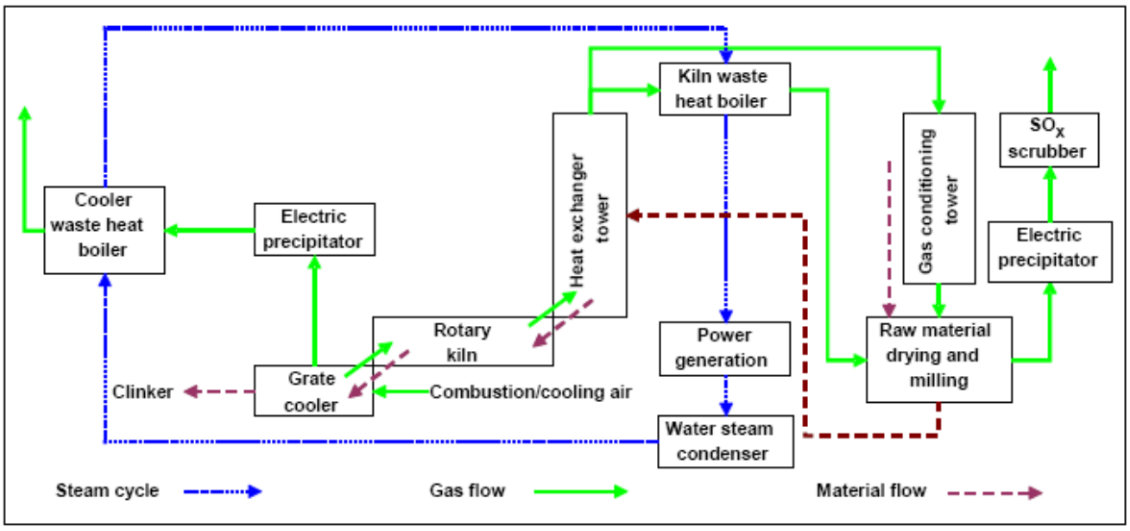

Рис. 4.1 Технологическая схема двухступенчатой системы рекуперации тепла на основе воды для преобразования энергии на цементном заводе в г. Слите, Швеция [133]

Steam cycle – паровой цикл; Gas flow – газовый поток;Material flow – материальный поток;Cooler waste heat boiler – холодильник котел неиспользованного сбрасываемого тепла;Electric precipitator – электростатический осадитель;Grate cooler – решетка холодильника;Clinker –клинкер; Rotary kiln-вращающаяся печь; Combustion/cooling air –воздух для горения/охлаждения;Heat exchanger tower – башня запечного теплообменника ;Kiln waste heat boiler – котел неиспользованного сбрасываемого тепла печи;Power generation – выработка энергии;Water steam condenser – охладитель водяного пара;Gas conditioning tower – кондиционер газа;Raw material drying and milling – сушка и размалывание сырья;SO_x scrubber – влажный скруббер SO_x.

Сначала котлы отработанного тепла клинкерного холодильника работали в режиме ожидания. Однако котел для предварительного нагрева отработанным газом в теплообменнике даже после изменения конструкции не генерировал пар, на который был изначально рассчитан. Причиной этого являлся изолирующий эффект слоя тонкой пыли на трубах теплообменника. Для преодоления подобного дефекта потребовалась более эффективная система пылеудаления. Внутренний осмотр показал, что традиционная техника очистки труб с помощью пара экономически невыгодна. Вместо этого для использования сбрасываемого тепла необходим котел с развитой поверхностью теплообмена. Однако этот вариант вызвал более сильный перепад давления и повлек за собой увеличение внутренних энергозатрат.

В 2007 году завод рекуперировал из этой системы около 30 МВт тепла. Первоначально она была рассчитана на 9 МВт, сейчас, после модернизации, она поставляет около 6 МВт. В 1999 году инвестиции в котел и парораспределительную систему составили 8 млн. евро, из этой суммы 25 % пришлись на субсидии. Тем не менее, на повторное использование паровой турбины, значительно влияющей на экономику установки, не было потрачено ни цента. Сегодня ежегодная выработка электроэнергии достигает 50 ГВт·ч, что составляет четверть потребности завода.

4.2.3.2 Рекуперация тепла с помощью процесса на основе органического цикла Ранкина – цементный завод в г. Ленгфурт, Германия.

Завод в г. Ленгфурт использует так называемый низкотемпературный органический цикл Ранкина. Этот процесс базируется на использовании органического рабочего тела (пентана), который испаряется при значительно меньших, чем вода, температурах. Базовые принципы этой техники успешно использовались долгое время в технике замораживания.

Технология цикла Ранкина используется главным образом для выработки энергии из геотермальных источников тепла, однако для цементного завода такой процесс применяется впервые. Рисунок/схема 4.2 показывает схему этого процесса.

Процесс на основе цикла Ранкина для выработки энергии из низкотемпературного отработанного тепла на цементном заводе в Ленгфурте, который после семилетних испытаний запустили в 2007 г., может рассматриваться как вполне возможная техническая альтернатива тем электростанциям, где используется водяной пар, а с учётом помощи регионального правительства и различных фондов – ещё и экономически более выгодным для владельца.

Особое преимущество рассматриваемого процесса заключается в стабильном и чётком производственном цикле, компактной структуре и сравнительно высокой эффективности, которая может быть достигнута при использовании источников тепла температурой ниже 275^0 С. Справедливости ради следует сказать, что этот процесс не является типичным для цементных заводов, поэтому обслуживающему и управленческому персоналу требуется специальная подготовка.

Установка на основе цикла Ранкина , вырабатывающая энергию из отработанного тепла, состоит из нескольких подсистем:

- клинкерный холодильник с отходящим газом в качестве источника отработанного тепла
- электростатический осадитель для уменьшения выбросов пыли
    - Примечание: с учетом уровня температур к такой конструкции не подходят тканевые фильтры
- котел для отработанного тепла с циркулирующим пентаном
- турбина и генератор, в котором вырабатывается энергия
- установка для конденсации, обеспечивающая повторное охлаждение потока пентана

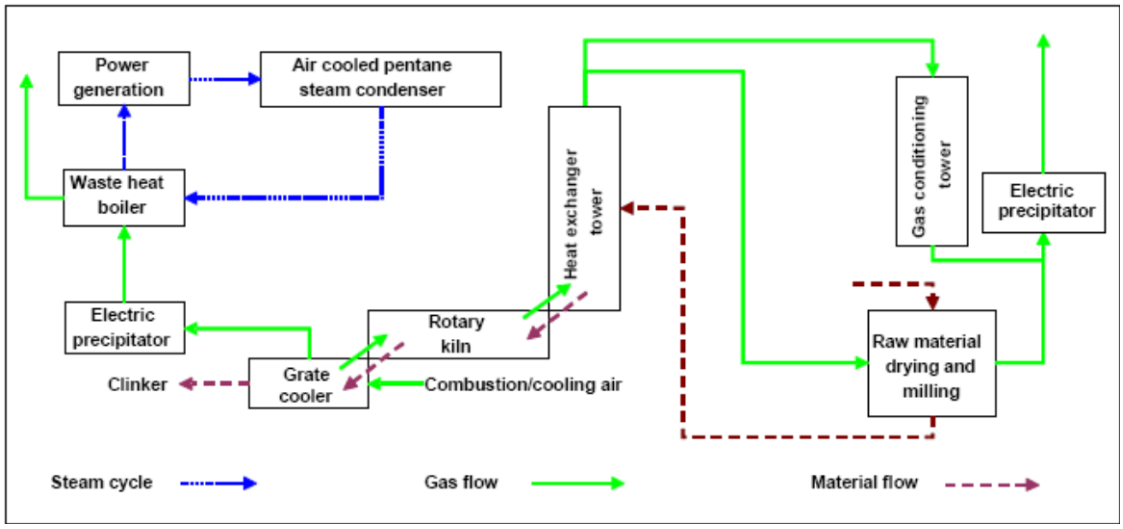

Рис. 4.2 Технологическая схема рекуперации отработанного тепла с преобразованием его в электроэнергию на заводе в Ленгфурте, Германия [133]

Steam cycle – паровой цикл;Gas flow – газовый поток;Material flow – Материальный поток;Clinker – клинкер;Grate cooler – решетка холодильника;Electric precipitator – электрический пылеуловитель;Waste heat boiler – котел, использующий отработанное тепло;Power generation – выработка энергии;Air cooled pentane steam condenser – конденсатор для охлаждения пара пентана воздухом; Combustion/cooling air – воздух для горения/охлаждения;Rotary kiln – вращающаяся печь;Heat exchanger tower – башня теплообменника;Raw material drying and milling – сушка и измельчение сырья

Результаты показали, что данным способом производства можно генерировать 1,0 МВт (нетто) электроэнергии. Коэффициент использования составил 97 % рабочего времени цементной печи. За счет отработанного воздуха клинкерного холодильника на выходе из него образуется14 МВт отработанного тепла, из которых в среднем используется 9 МВт, при этом температура отходящих газов колеблется в пределах 300-350 ^{0}С .

Временами из-за определённых рабочих условий печи и клинкерного холодильника, производительность турбины ниже заданной. В 2007 г. установка по выработке энергии из отработанного тепла обеспечивала 9 % от потребности цементного завода в электроэнергии, в будущем она сможет повысить её до 12 %. В этом случае выбросы CO_2 в процессе сжигания топлива, связанного с выработкой энергии, могут снизиться от 3000 до 7620 т/ год.

Общие затраты составили 4 млн. евро. 2 млн. из этой суммы были затрачены на сооружение установки с циклом Ранкина. Вторая половина ушла на установку котла для использования отработанного тепла, сооружение установки по доставке тепла, монолитных конструкций, электрических сетей, инженерных коммуникаций, пуско-наладочные работы, сметы и пошлины. В результате 1 кВт чистой энергии обходится примерно в 4000 евро в год или 1 т CO_2 – в 1300 евро. За год вырабатывалось электроэнергии 6000 МВт·ч, на что потребовалось 50 000 евро. Между тем, никаких сумм не заложено на капитальный ремонт установки, который со временем обязательно потребуется [78, 79, 133].

4.2.4 Производство цемента – примеры сокращения выбросов NO_x с помощью высокоэффективной технологии селективного некаталитического восстановления (SNCR)

Применение технологии SNCR в цементных печах насчитывает уже более 25 летнюю историю. Первые опыты показали пригодность SNCR во вращающихся цементных печах, обеспечивающих температурное окно в пределах 900-1000 ^{0}C. В 1990-х годах эксперименты проводились уже во многих странах (Германия, США, Австрия, Швеция, Швейцария и др.). Во многих случаях достигалось 50 % снижение выбросов NO_x. Сегодня в цементной промышленности во многих цементных печах Европы и США для уменьшения выбросов NO_x широко применяется SNCR.

4.2.4.1 Пример использования технологии SNCR в Швеции

Процесс

Шведская компания Cementa AB с 1997 г. использует высокоэффективную технологию SNCR для сокращения выбросов NO_x на трёх цементных печах с суточной мощностью 1900 т каждая (с пятиступенчатым запечным теплообменником и с планетарным холодильником) на своём цементном заводе в Скёвде и на печах с суточной мощностью от 1200 до 5800 т на заводе в Слите. На рис. 4.3 приведена технологическая схема печи с запечным теплообменником и планетарным холодильником в Слите.

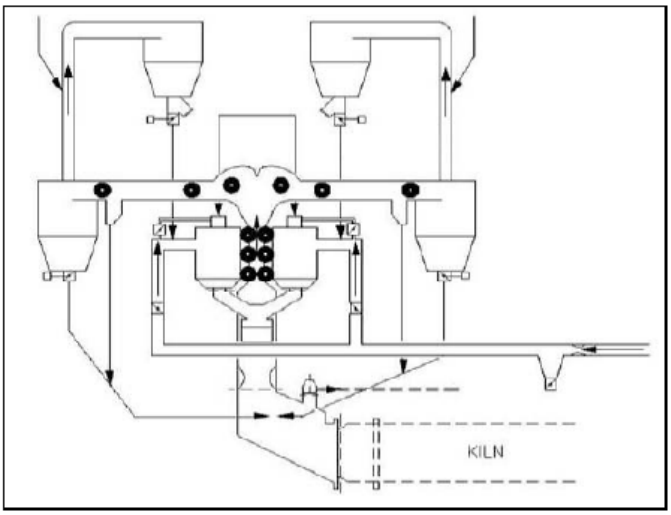

Рис. 4.3 Технологическая схема производства цемента в Слите, Швеция [114]

Для впрыскивания аммиака в газовый поток используется различное количество пар сопел. Как показано на рис. 4.4, на цементном заводе в Слите обычно используют три или четыре пары направляющих сопел. Схема распределения направляющих сопел для впрыскивания аммиака на заводе в Скёвде показана на рис 4.5.

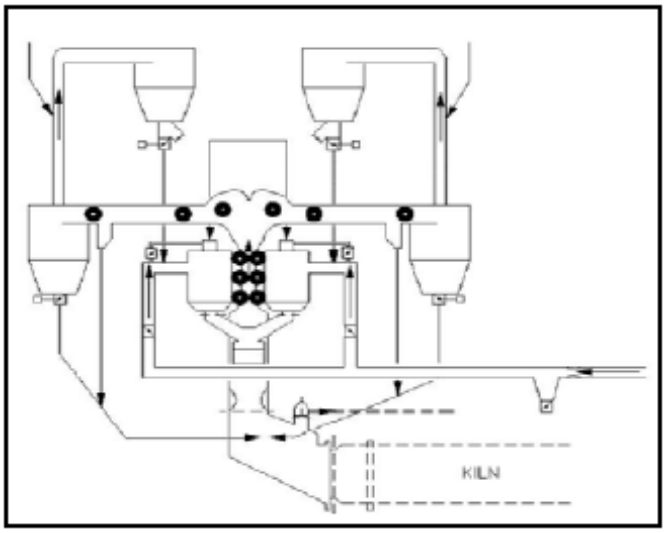

Рис. 4.4 Схема размещения системы впрыскивания раствора NH_3 для технологии SNCR на заводе в Слите, Швеция [114]

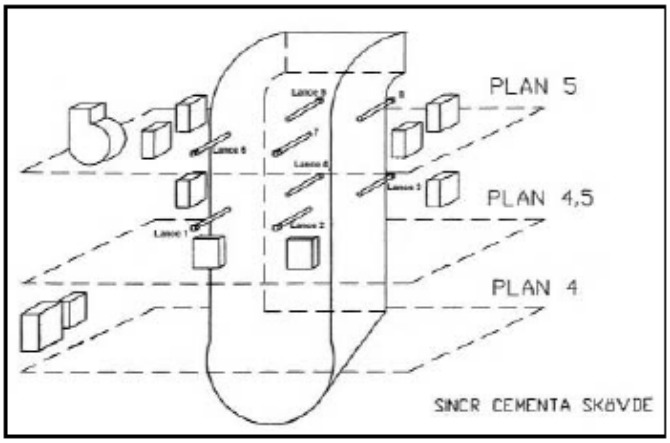

Рис. 4.5 Схема размещения системы впрыскивания раствора NH_3 для SNCR на заводе в Скёвде, Швеция [114]

На обоих заводах исходный уровень NO_x находился между 800 и 1100 мг/нм^3, уровень же сокращения оставался, как и было заложено, в пределах 80 %. С 1998 г. продолжительные выбросы NO_x были в пределах 200 мг/нм^3, среднегодовые выбросы на заводе в Скёвде были даже меньше. Чтобы удалить около 45 тыс. т NO_x с 1997 г. было использовано приблизительно 63, 5 тыс. т аммиака. На заводе в Слите потребление аммиачной воды (25 %) стабилизировалось на уровне 3,5-4,5 л/т клинкера. На заводе в Скёвде потребление колебалось в пределах 2,5-3,5 л/т. На рис 4.6 показано, какое количество аммиачной воды было использовано и каковы были выбросы NO_x на этих заводах с 1995 по 2005 г. Эффект флуктуации потребления аммиака вполне вероятно связан с изменениями условий спекания клинкера и, в меньшей степени, с износом в системе направляющих сопел. Примечательно, что с 1997 по 2005 г. не было необходимости менять направляющие сопла, а продолжительность простоя трёх печей не превысила 200 ч.

Молярное отношение

Первоначальное молярное отношение (отношение количества молей NH_3 к имеющимся молям NO_x) в 2001 г. на заводе в Скёвде составляло 1-1,2. При средней эффективности удаления в 80 % рассчитали, что это соотношение должно быть от 1,2 до 1,4 для удаленного NO_x. На заводе в Слите соотношение молей аммиака первоначально было в пределах 1,2 – 1,4 моль/моль (наличный NO_x к введённому NH_3) или 1,5 – 1,8 (восстановленный NO_x к введённому NH_3).

Проскок аммиака

С 1994 по 1996 год проверки проскока аммиака и выбросов показали, что естественные выбросы аммиака из сырья возрастали на заводе в Скёвде с 10 до 30 мг/нм^3, а в Слите – с 15 до 20 мг/нм^3.

С введением в строй SNCR на заводе в Скёвде проскок аммиака составлял 5-10 мг/нм^3. В Слите проскок аммиака на пике естественных выбросов был на уровне 5-20 мг/нм^3.

На заводе в Скёвде повторили измерения в 2003 году, которые показали менее 5 мг/нм^3 выбросов аммиака без SNCR и 20 мг/нм^3 с использованием SNCR.

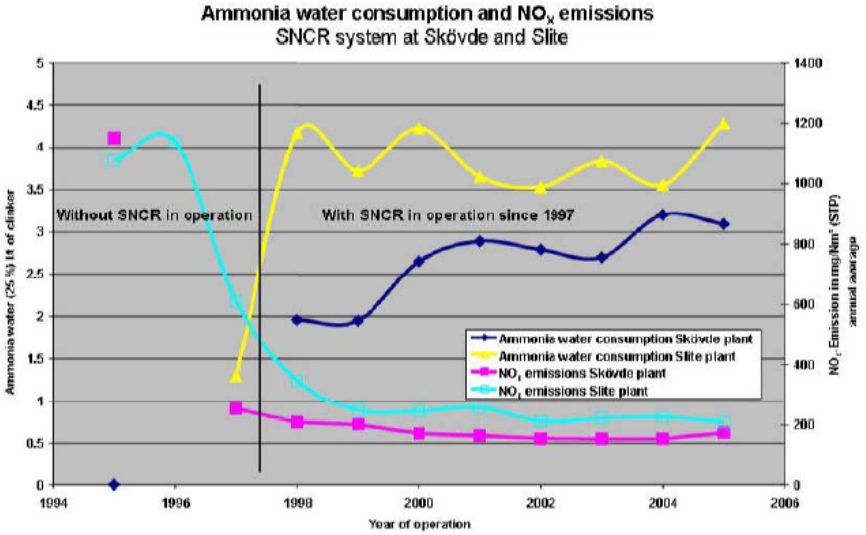

Рис 4.6 Выбросы NO_x и потребление аммиачной воды на цементных заводах в Слите и Скёвде (Швеция) с 1995 по 2005 г.

Year of operation - Операционный год;Ammonia water (25%) l/t of clinker - Аммиачная вода (25%) в л/т клинкера;NO_x emission in mg/nm^3 (SIP) annual average - выбросы NO_x в мг/мн^3 (SIP) в среднем в год;Without SNCR in operation - Без использования SNCR;With SNCR in operation since 1997 - с использованием SNCR с 1997 г;Ammonia water consumption Skovde plant - Потребление аммиачной воды на заводе в Скёвде; Ammonia water consumption Slite plant - Потребление аммиачной воды на заводе в Слите;NO_x emissions Skovde plant - Выбросы NO_x в Скёвде;NO_x emissions Slite plant - Выбросы NO_x в Слите

Что важно для обоих заводов – сырьевые мельницы оказались бывшими в употреблении. Аммиак собирался внутри мельничных конструкций. В Скёвде мельничные системы (сырьевые и угольные) находились в эксплуатации практически 98 % времени. Вследствие этого средние данные представляют собой усредненные выбросы аммиака при работающей и выключенной мельнице.

В Слите наоборот, на заводе есть скруббер для влажного удаления SO_x, в котором скапливается аммиак, вследствие чего уравниваются верхние и нижние показатели. Вместе с гипсом в цементные мельницы подаётся лишь малая (3 кг/ч) часть аммиака. Цементная мельница работает при низких температурах в замкнутом режиме, поэтому запах аммиака в цементном силосе ощущается очень редко. После 1998 г. измерения выбросов аммиака продолжались у выходного патрубка влажного скруббера. Данные о выбросах аммиака и об использовании аммиачной воды на заводе в Слите показаны на рис. 4.7.

Выбросы аммиака в операционном режиме без скрубберного уловителя SO_2 составляли от 15 до 35 мг/нм^3.

Как только уловитель включался, кратковременные пиковые показатели поднимались до 125 мг/нм^3. Это происходит потому, что скрубберная жидкость повышает температуру с 53 до 59 ^{0}C, равновесие нарушается, и высвобождается часть поглощенного аммиака. При использовании скруббера на заводе в Слите при среднем уровне аммиака 20-35 мг/нм^3 в большинстве случаев сохраняется тенденция к поглощению аммиака водой. Этот эффект показывает, что даже несмотря на высокую эффективность системы с SNCR, особое внимание следует уделить также первоначальному снижению NO_x оптимизацией условий процесса горения.

На шведских цементных заводах применялось специальное оборудование. Благодаря этому оборудованию и технической разработке низких выбросов NO_x дополнительные выбросы аммиака сохранялись на уровне 5-20 мг/нм^3. Однако по самой природе цементного производственного процесса проскоки аммиака продолжаются.

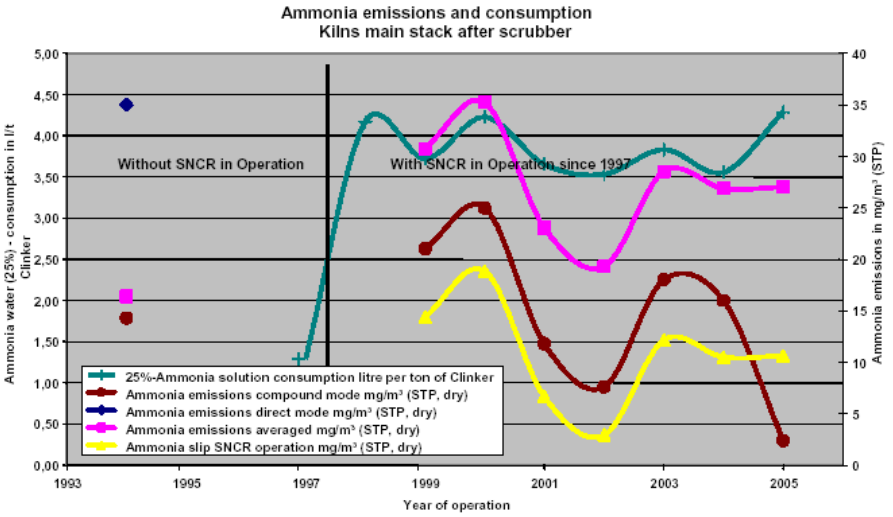

Рис 4.7 Выбросы NH_3 и потребление аммиачной воды в двух печах на цементном заводе в Слите, Швеция, с 1994 по 2005 г. [114]

Ammonia emissions and consumption -Выбросы и потребление аммиака; Kilns main stack after scrubber- Дымовая труба печей после скруббера;Year of operation - Год операций;Ammonia water (25%) – consumption in l/t - Аммиачная вода (25%) потребление в л/т;Clinker – Клинкер;25% Ammonia solution consumption litre per ton of clinker - Потребление 25% аммиачной жидкости в литрах на тонну клинкера;Ammonia emissions compound mode mg/m^3 (STP, dry) - Выбросы аммиака смешанного типа мг/м^3 (STP, сухой);Ammonia emissions direct mode mg/m^3 (STP, dry) - Выбросы чистого аммиака типа мг/м^3 (STP, сухой);Ammonia emissions averaged mg/m^3 (STP, dry) - Выбросы аммиака среднего типа мг/м^3 (STP, сухой); Ammonia slip SNCR operation mg/m^3 (STP, dry) - Проскок аммиака при работе SNCR мг/м^3 (STP, сухой);Without SNCR in Operation - С выключенной SNCR;With SNCR in Operation since 1997 - С включённой SNCR с 1997 г;Ammonia emissions in mg/m^3 (STP) - Выбросы аммиака в мг/м^3 (STP).

Эксплуатационные затраты

Стоимость функционирования системы SNCR во многом зависит от потребления аммиачной воды. Сюда следует добавить небольшой расход энергии, необходимой для перекачивания аммиака, и горение аммиака в восстановительной зоне при 900 – 1100 ^{0}C восполняет тепло, необходимое для испарения воды - переносчика аммиака.

В 1996 г. 1 т 25 % аммиачной воды стоила около 100 евро, в 2006 г. цена поднялась до 130 евро, при этом затраты на получение 1 т клинкера в Скёвде скромно поднялись с 0,30 до 0,35 евро. Таким образом, общие затраты на 1 т клинкера составили от 0,40 до 0,45 евро.

Поскольку Слит находится на острове Готланд, где перевозки стоят дороже, чем на материке, то в 2007 г. 1 т обходилась в 140 евро, а дополнительные расходы на 1 т клинкера составили 0,40-0,50 евро. К стоимости производства, электричества, эксплуатационных издержек и амортизации добавляется ещё 0,10 на 1 т клинкера. Как было подсчитано ранее, дополнительные расходы на 1 т клинкера колебались в диапазоне 0,50-0,60 евро.

За период с 1997 по 2005 г. затраты на удаление загрязняющих веществ составили 11 млн. евро. В то же время было удалено около 45 000 т NO_x. С учётом этого, а также износа, капитальных затрат, энергии и аммиака расходы на удаление 1 т NO_x составили 250 евро.

4.2.4.2 Применение технологии SNCR в Германии

В качестве примера рассматривается цементный завод в Германии, использующий современный сухой способ, где технология SNCR применяется уже много лет. На заводе установлена вращающаяся печь диаметром 5,5 и длиной 89 м с четырёхступенчатым двухветвевым теплообменником и планетарным холодильником. Производительность – около 3000 т клинкера в сутки. Такую печь можно отапливать отходами 100 % времени. Для использования технологии SNCR имеется нужное температурное окно в области восходящего газохода. Начальный уровень выбросов NO_x относительно низок и составляет около 400-600 мг/нм^3 в сутки. Однако возможно его увеличение до 1200 мг/нм^3 и выше.

Аммиачная вода (25 % раствор аммония) хранится в резервуаре объёмом 100 м^3. Оттуда её насосом подают в меньшую ёмкость и с помощью соответствующего устройства через восемь трубок (как показано на рис. 4.8) осуществляется впрыскивание. Расположение трубок определяется температурными параметрами в восходящем газоходе.

Рис. 4.8 Высокоэффективная технология SNCR и участок размещения трубок с 21 по 26 для впрыскивания аммиачной воды [76]

С помощью технологии SNCR уровень выбросов NO_2/нм^3 в 500 мг может постоянно поддерживаться без значительных проскоков аммиака. Чтобы добиться снижения выбросов менее 500 мг/нм^3, были проведены испытания для оптимизации установки SNCR. Шестимесячные испытания в 2007 г. показали, что добиться выбросов NO_x на уровне 350 мг/нм^3 (среднесуточные показатели) можно при молярном отношении NH_3/NO на уровне 0,7 (работа в объединённой системе с включенной мельницей) и 0,8 (мельница выключена). В дальнейшем выбросы NO_x на уровне 200 мг/нм^3 (среднесуточные показатели) достигались при молярном отношении NH_3/ NO на уровне 1,4 (работа в системе с включённой мельницей) – 1,5 (работа с включенной мельницей). Однако при высоком молярном отношении NH_3 / NO следует очень внимательно рассматривать выброс аммиака. Во время показательных испытаний выбросы NH_3 измеряли постоянно. Эти измерения засвидетельствовали значительные проскоки аммиака при поддержании уровня выбросов NO_x 200 мг/нм^3, в частности, при выключенной мельнице (максимум 50-200 мг/нм^3). В общем, проскок аммиака был в два раза выше для достижении выброса в 200 мг/нм^3 (средний показатель NH_3 за три месяца – 11 мг/нм^3) в сравнении с выбросом в 350 мг/нм^3 (средний показатель за три месяца – 21 мг/нм^3). В этом случае продолжительность использования производственной мощности при выключенной мельнице составляла 10-20 %. Соответствующего увеличения наличия аммиака в сырьевой смеси и в порошке, осажденном в электростатическом осадителе, во время испытания не наблюдалось. Проскок аммиака, происходящий при этом процессе, устанавливает лимиты на передозировку стехиометрического состава восстанавливающих средств [76, 168, 173, 182].

4.2.5 Производство цемента – пример снижения выбросов NO_x при использовании технологии селективного каталитического восстановления (SCR)

Описание

Первый экспериментальный завод с полным циклом селективного каталитического восстановления оксидов азота (SCR) был построен в Германии на средства государственного фонда. Завод Solnhofer Portland-Zementwerke введен в строй в 2001 г. Решение применить SCR систему при высокой запыленности было принято по следующим причинам:

- более низкое по сравнению с SNCR потребление NH_3,что снижает эксплуатационные расходы;
- в верхней части четырёхступенчатого теплообменника отходящие газы имеют температуру 320-350 ^{0}C, которая позволяют осуществить технологию SCR и не требует повторного подогрева (который осуществляют в случае помещения реактора между тканевым фильтром и дымовой трубой), таким образом сокращая энергозатраты и потери давления.

Реактор SCR на цементном заводе в Солнхофене позволяет применять шестислойные каталитические элементы, но использовали только три слоя. Каждый слой состоит из шести модулей, в каждом модуле - 72 каталитических элемента. Каталитический элемент имеет размеры 15x15x90 см, форму гребёнки и специальный состав на основе TiO_2 и V_2O_5. Шаг в 13 мм (только в среднем слое - 10 мм) выбран с целью избежать засорения. Система интегрированного удаления пыли использует для очистки поверхностей катализаторов от скоплений пыли предварительно подогретый сжатый воздух. Воздушные направляющие сопла непрерывно движутся над каждым слоем катализаторов и поэтому для удаления пыли с катализаторов не требуется никакого дополнительного обслуживания. Оптимизация системы удаления пыли позволила уменьшить потребление сжатого воздуха с первоначальных 100 до 18 м^3 на 1 т клинкера, что обеспечило снижение стоимости энергозатрат на использование катализаторов приблизительно в 0,098 евро на 1 т клинкера [76].

На рис. 4.9 проиллюстрирована технология SCR на цементном заводе.

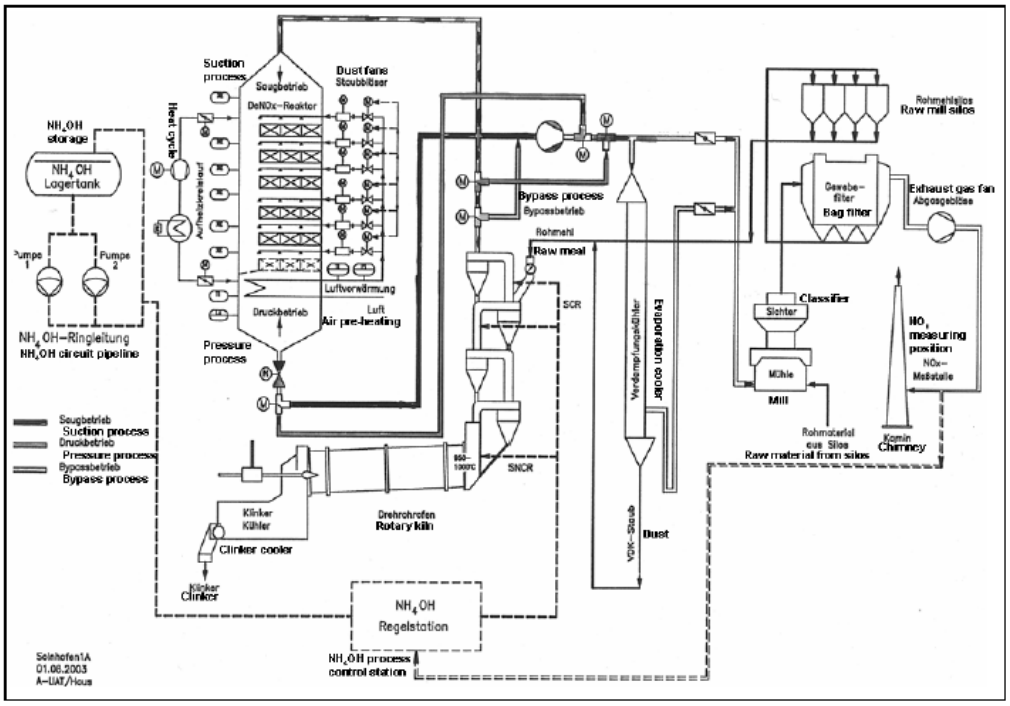

Рис. 4.9 Технологическая схема экспериментального завода с технологией SCR в Германии (Solnhofer Portland-Zementwerke) [76]

Suction process – процесс всасывания;Pressure process - процесс давления;Bypass process – байпасирование;NH_4 OH circuit pipeline - NH_4OH кольцевой трубопровод;Pumpa 1 - насос 1;Pumpa 2 - насос 2; NH_4OH storage - хранилище NH_4OH;Clinker – Клинкер;Clinker cooler - Клинкерный холодильник;Heat cycle - Тепловой цикл;Dust fans - вентиляторы для удаления пыли;Air pre-heating - предварительный подогрев воздуха;Rotary kiln - вращающаяся печь;Raw meal - Сырьевая мука;Dust – пыль;Evaporation cooler – охлаждение испарением;Raw material from silos – Сырьё из бункеров;Mill – мельница;Classifier –классификатор; Bag filter - рукавный фильтр;Raw mill silos – сило сырьевой муки;Exhaust gas fan – дымосос отходящих газов;NO_x measuring position -точка измерения NO_x;Chimney –дымоход

Для обеспечения максимальной продолжительности работы реактора SCR он сконструирован таким образом, чтобы облегчить как предыдущую, так и последующую технологическую операцию, как показано на схеме 4.9. Соответственно, интегрированная система обеспыливания способна удалять пыль как с верхней, так и с нижней поверхности каждого слоя катализаторов. Поскольку долгосрочный эксперимент в Солнхофене не доказал ожидаемого преимущества предыдущей технологической операции, необходимости переводить газовый поток не возникло. Соответственно, в будущем можно конструировать SCR только на последующие технологические операции, таким образом уменьшая инвестиционные затраты.

Восстановительная добавка, 25 % водный раствор NH_3, добавляется в отходящие газы на верхних ступенях запечного теплообменника в отношении 0,8 - 0,9 от молярного стехиометрического расхода, с учетом потока отходящих газов, начальной концентрации NO_x и заданному значению выбросов.

Первый комплект катализаторов проработал 40 000 ч без значительного износа и потери активности. Позже испытания пластинчатых катализаторов показали более высокий механический износ и неожиданную потерю активности. Чтобы обеспечить постоянное соответствие конечному значению выбросов (ELV), в 2006 г. на заводе в Солнхофене в качестве резервного оборудования установили систему SNCR.

Достигнутый эффект по охране окружающей среды и эксплуатационные показатели

Эффективность снижения выбросов NO_x с помощью технологии SCR на заводе в Солнхофене обычно поддерживается в диапазоне 59 – 67 %. В нестандартных условиях производства, когда концентрация NO_x достигала 3000 мг/нм^3 или выше, эффективность снижения выбросов NO_x доходила до 80 %. В обычных условиях SCR снижает концентрацию выбросов NO_x с 1000 – 1600 мг/нм^3 до 400 – 550 мг/нм^3. Следует заметить, что завод в Солнхофене был спроектирован из расчёта на выбросы NO_x в пределах 500 мг/нм^3 и в основном этот режим соблюдался, однако иногда предел в 500 мг/нм^3 превышался.

При молярном соотношении от 0,8 до 0,9 использование NH_3 значительно ниже, чем при технологии SNCR. Следует заметить, что и NH_3 из сырьевого материала служит в реакторе в качестве восстановителя, уровень выбросов оставшегося NH_3 при этом очень низок. Использование SCR на заводе в Солнхофене обычно приводило к снижению выбросов NH_3 до 1мг/нм^3.

Однажды была поставлена задача довести уровень выбросов NO_x до 200 мг/нм^3, для этого дозировка NH_3 была увеличена. Тогда удалось добиться уровня выбросов в 300 мг/нм^3. Эти результаты могут свидетельствовать о скрытых возможностях технологии, особенно если учитывать, что они были достигнуты при использовании только трёх слоёв катализаторов и уровень выбросов остаточного NH_3 колебался около 1 мг/нм^3.

Эффекты воздействия на различные компоненты окружающей среды

Единственный негативный эффект – незначительное повышение затрат электроэнергии из-за использования внутренней системы удаления пыли в реакторе SCR и увеличения сопротивления.

Пригодность

Вплоть до 2008 г. технологию SCR тестировали только на печных системах с запечным теплообменником и полусухого (системы Леполь) способа, но она вполне пригодна и для других печных систем.

Экономические показатели

Общие инвестиционные затраты на проект SCR в Солнхофене – около 3,5 млн. евро, включая дополнительные расходы на расширение применения такой технологии до использования шести слоёв катализаторов и способности работать как в предыдущей, так в последующей операциях технологического цикла. Инвестиционные затраты на новую ус-

тановку для завода в Солнхофене оцениваются приблизительно в 2,2 млн. евро на реактор SCR, включая около 250 000 евро на катализаторы, которые необходимо менять каждые 5-6 лет. В эту сумму не входят затраты на хранение аммиака и канализацию, так как они значительно отличаются в разных местах. Стоимость восстановления NO_x с помощью SCR или SNCR оценивалась Германским федеральным агентством по охране окружающей среды (UBA) на основе эксперимента в Солнхофене, исходя из мощности печи в 1500 т/сутки и сокращения выбросов NO_x с 1000 до 500 мг/нм^3,. Как показано в двух последних колонках таблицы 4.26, затраты рассчитывались на основе снижения выбросов NO_x до 200 мг/нм^3.

По подсчётам германского UBA, при выбросах NO_x 500 г/нм^3 эксплуатационные затраты на технологии SNCR и SCR, включая затраты на замену катализаторов, приблизительно одинаковы, хотя специальные затраты для SCR вдвое превышают аналогичные для SNCR. При заданном уровне NO_x в 200 мг/нм^3 эксплуатационные затраты SCR кажутся более эффективными, но общие специальные затраты остаются такими же, как и SNCR. При сравнении этих цифр надо отметить, что длительный эксперимент с обеспечением уровня выброса NO_x 200 мг/мн^3 не достигается ни в случае применения SCR, ни SNCR. В случае с SNCR следует также принимать в расчёт более высокие выбросы NH_3 [76].

Таблица 4.25. Основные показатели эксплуатации установки с технологией SCR в Германии [76]

Параметры	Единица измерения	Показатель
Выпуск клинкера	т/год	480000
Мощность по клинкеру	т /сут	1500
Время работы	ч/год	7680
Выход отходящих газов	нм^3/т	2300
Начальный уровень NO_x	мг/нм^3	1000
Начальный уровень NO_x	кг/т	2,3
Затраты NH_3 (25 % раствор)	евро/т	90,00
Затраты на катализатор	евро/нм^3	7500
Срок службы катализаторов	Ч	40000
Срок службы инвестиций	г	20
Уровень инфляции	%	3,0

Таблица 4.26. Сравнение затрат на технологию борьбы с выбросами NO_x на установке с SNCR и на установке с SCR по данным Германского UBA [76]

Сравнительный анализ затрат SNCR против SCR

Параметры	Ед. изм.	SNCR	SCR	SNCR	SCR
Заданное значение выброса NO_x	мг/нм^3	500	500	200	200
Эквивалент NH_3	кг/т	0,44	0,44	0,71	0,71
Стехиометрический коэффициент		1,7	0,8	2,5	1,0
Расход NH_3 (25 % раствор)	кг/т	3,02	1,42	7,11	2,84
Расход NH_3 (25 % раствор)	кг/сут.	4,550	2,150	10,650	4,250
Количество слоёв катализатора			3		4
Эксплуатационные затраты					
Расход NH_3	евро/т	0,27	0,13	0,64	0,26
Расход электроэнергии	евро/т	0,03	0,10	0,06	0,11
Замена катализаторов	евро/т		0,10		0,13
Итого	евро/т	0,30	0,33	0,70	0,50
Инвестиции					
Система подачи аммиака	тыс. евро	600	250	1000	350
Реактор SCR (без катализаторов)	тыс. евро		1950		2350

Итого	тыс. евро	600	2200	1000	2700
Специальные инвестиционные затраты [1)]	евро/т	0,08	0,30	0,14	0,37
Общие специальные затраты [2)]	евро/т	0,38	0,62	0,83	0,87
Затраты на снижение выбросов NO_x	евро/т NO_x	330,00	540,00	450,00	470,00

[1)]Особые инвестиции
[2)]Общие операционные затраты и особые инвестиционные затраты

Проведённый Ассоциацией немецких инженеров (VDZ) расчёт затрат на немецком цементном заводе включает в себя детальный подход к затратам на технологию SCR. Кроме инвестиций, это исследование рассматривает общие эксплуатационные затраты, включая затраты на аммиачную воду, потребление энергии на сжатый воздух для очистки катализаторов, увеличение сопротивления из-за собственно катализаторов, а также обычные для цементного завода сборы и налоги. Было показано, что затраты на SNCR всегда меньше, чем на SCR, если в качестве базовых принять европейские цены на энергию и на NH_3. Теоретически SCR могло бы стать менее затратным, чем SNCR, при очень высокой степени восстановления оксида азота, но только в том случае, если значительно повысятся цены на NH_3, а цены на энергию упадут. Однако такая ситуация в европейском регионе кажется маловероятной, поскольку цены на аммиак и энергию не противопоставлены друг другу, а имеют тенденцию падать и подниматься в зависимости от конкуренции. Можно было бы увидеть, что предварительные меры по снижению NO_x (до 800 мг/м^3 , как было в среднем по Германии в 2007 г.) экономически более выгодны, так как на их цену влияет цена аммиака.

SCR технология показала уровни затрат в 1,25-2,00 раз больше в зависимости от размеров завода и требований к эффективности очистки выбросов NO_x. SCR превосходит SNCR по инвестициям в 4-9 раз. Гораздо выше и потребление энергии из-за повышения сопротивления и расходования сжатого воздуха для очистки катализаторов. Последние удельные расходы отражают развитие технологии SCR. Ранее в исследованиях VDZ была принята специальная цена 1 т клинкера для SCR в 3 евро, хотя уже в 2006 г. цена снизилась до 1,75 евро [76].

Затраты, рассчитанные VDZ для завода полного цикла с мощностью 1500 т/сутки и начальными выбросами в 1200 мг/нм^3 и конечными выбросами в 200, 500 и 800 мг/нм^3, показаны в таблице 4.27.

Таблица 4.27 Расчёт стоимости снижения выбросов NO_x технологией SCR на немецком цементном заводе мощностью 1500 т/сутки [76]

Технология	Пригодность к печной системе	Эффективность восстановления	Отчётные затраты	
			Инвестиционные затраты (млн. евро)	Операционные затраты (евро)
SCR	Любая	85 – 95 %	3,2 – 4,2	0,54 – 0,94

4.2.6 Производство цемента – указания относительно контроля проскока CO

В большинстве случаев при сухом способе производства цемента горячие отходящие газы снабжают теплом сырьевые мельницы (соединение процессов). Однако в том случае, когда сырьевая мельница не работает, газы перед обеспыливанием обычно охлаждают разбрызгиванием воды в башне кондиционера для того, чтобы снизить объём газов и улучшить показатели обеспыливания, последнее особенно важно при использовании электростатического осадителя.

В связке печь/сырьевая мельница используют газ, включающий такие различные составляющие как CO_2, N_2, водяной пар и кислород. Во много меньшей степени он содержит NO и SO_x, а также CO. В дымовых газах содержится до 0,1 % CO, дополнительное его количество образуется за счет углерода сырьевых материалов.

Термин «проскок CO» применим к электростатическим осадителям и до известной степени к гибридным фильтрам, поскольку они должны отключаться при повышении уровня CO по соображениям безопасности. В свою очередь такое отключение приводит к увеличению выбросов пыли в течении от нескольких секунд до нескольких минут. Необходимо автоматическое устройство для непрерывного мониторинга дымовых газов. Когда это устройство запрограммировано на скорость реакции на отключение, электростатический осадитель работает в соответствии с таким регламентом. Снабжение печей системой вторичного дожигания обеспечивает дальнейшую операционную устойчивость фильтров от последующей остановки системы обжига вследствие проскока CO.

4.2.6.1 Цель снижения операционных помех - проскоки CO

Образующийся из содержащегося в сырьевых материалах органического вещества оксид углерода будет выбрасываться в печные газы. Однако в добавление к этому дополнительное количество CO возникает в том случае, когда подача и/или горение топлива происходит при несоответствующем соотношении воздуха. Проскоки CO могут возникнуть в течение пары минут или даже секунд, быстро достигая предельного уровня (см. раздел 1.3.4.1.1.).

Поэтому главной целью является предварительная минимизация операционных помех для исключения взрывов в электростатическом осадителе управленческими методами. Таким образом, важен контроль уровня CO в цементной печи, особенно если для удаления пыли используются электростатические осадители. Если проскок CO невозможно подавить, следует особо контролировать любые очаги горения, особенно находящиеся в оборудовании электростатического осадителя под высоким напряжением. Как таковой проскок CO в оборудование под высоким напряжением является крайним и нежелательным случаем. Другими источниками возгорания могут быть статические нагрузки, создаваемые трением твердое/твердое, а также вентиляторы системы пылеулавливания.

В целом критический предел составляет > 8 % CO или CH_4 в присутствии > 6 % O_2. В действительности проскок CO быстро проходит по газовому тракту и достигает источника возгорания раньше, чем аналитическая система способна поднять тревогу. Поэтому возможность воздействия на процесс существенно меньше, чем теоретическая и зависит от концентраций CH_4 и H_2, особенно при использовании в качестве топлива природного газа. В определенных случаях электростатические осадители работают при меньших, чем предельное значение, проскоках, а в других случаях системы с электростатическими осадителями недостаточно защищены.

Уровень проскока в оборудовании под высоким напряжением зависит от времени «нечувствительности», которое, в свою очередь, зависит от расположения, типа и устройства аналитического оборудования. Чем короче время до реакции аналитического оборудования и требуется меньше времени для преодоления расстояния от точки подключения аналитического оборудования и источника возгорания, тем при меньшем уровне проскока происходит реагирование.

Результаты осмотров показывают, что нарушения происходят на стадии розжига. Поэтому для безопасной эксплуатации критически важно, чтобы газоанализатор для защиты электростатического осадителя находился в онлайновом режиме в течение всех стадий технологического процесса, а не только при нормальной эксплуатации. Для того, чтобы сократить время простоя оборудования, полезно использовать систему резервного оборудования.

2.4.6.2 Разработка стратегии минимизации образования CO

Для того, чтобы сократить продолжительность простоя, необходимо систематически осуществлять следующие перечисленные ниже мероприятия:

- ставить цели и оценивать ситуацию, исходя из основных факторов, влияющих на проскок CO в тех случаях, когда проскок CO вызван подачей топлива или неполнотой его сгорания;
- сопоставлять и оценивать текущую и оптимальную ситуации с выявлением возможностей оптимизации и установлением в качестве приоритетов анализа расхождения;
- оптимизировать процесс и аналитическую систему, обеспечивая повышение надежности, скорости и правильности её срабатывания.

На стадии оценки положения оборудования необходимо надежное работоспособное и динамичное аналитическое оборудование, а также статистика формирования CO за счет топлива и технологического процесса.

Проскок CO может быть вызван неустойчивостью операций в системе сжигания топлива. Эти явления могут возникать при использовании любого топлива, но особенно при использовании твердого топлива. По этой причине система питания топливом должна быть спроектирована таким образом, чтобы исключить волнообразное во времени поступление топлива в печь. Перемещение твердого топлива в этом плане характеризуется рядом специфических особенностей и должно тщательно контролироваться для того, чтобы избежать забивания систем подготовки и питания. Однако также важно обеспечить уровень выбросов CO на минимально возможном уровне, тем самым создавая больший запас времени до начала реакции. Этого достигают при внедрении таких усовершенствований, как оптимизация подачи топлива, конструкции горелки, тяги в печи, температуры горения и продолжительности пребывания материала в печи.

4.2.6.3 Система мониторинга CO

Идеальная система мониторинга CO характеризуется быстрой реакцией и должна обеспечивать закрытие такого источника CO, как выход из башни теплообменника или вход во вращающуюся печь мокрого способа. Таким образом необходимо, чтобы обеспечивалось время нечувствительности системы в сочетании с временем, необходимым для закрытия объёма трубы. Идеально, чтобы время, необходимое для прохождения пробы газа CO от точки засасывания к анализатору было в пределах 20-30 с (время запаздывания анализатора). Добавляя еще 10-30 с времени запаздывания - продолжительность определения - получаем общее максимальное время нечувствительности при достижении 85 % максимального значения Общее время нечувствительности определяют тогда, когда действие совершается не слишком рано и не слишком поздно. Если выполнен более детальный анализ наклона кривой сигнала CO, можно более точно прогнозировать, когда система находящегося под высоким напряжением электростатического осадителя должна закрыться и когда вновь войти в режим ,т.е. когда проскок CO покинул критический участок. Время запаздывания анализатора при мониторинге CO можно сократить увеличением интенсивности потока газа, сокращением расстояния от точки отбора пробы до анализатора, сокращением объёма анализатора и обеспечением получения быстрого электронного сигнала. На рынке имеются быстрые системы с реакцией < 3с, но их использованию мешает высокая запыленность газов. В целом же необходима точная установка и калибровка режима анализатора. Газоанализатор фиксирует критические значения: 5 % CO и 3 % CH_4.

4.2.6.4 Действия, которые необходимы при проскоке CO

В табл. 4.28 приведены примеры меропариятий, которые необходимо выполнить для предотвращения проскока CO в электростатический осадитель. Стандартные мероприятия подразумевают первоначальное снижение подачи топлива и снижение высокого напряжения в электростатическом осадителе. Затем осуществляют полное прекращение подачи топлива и автоматическое отключение высоковольтных трансформаторов. Необ-

ходимо обеспечить очистку системы, не прекращая работу вентиляторов. Необходимое время очистки системы можно определить так же, как и время запаздывания.

Таблица 4.28 Примеры первичных мероприятий по предотвращению проскоков CO в электростатический осадитель [60, 83]

Точка измерения	Уровень CO, %	Мероприятия
В башне теплообменника	0,5	Тревога, остановка системы горения теплообменник/печь
	1,2	Остановка основной системы горения
	2,5	Остановка подачи высокого напряжения в электростатический осадитель
После башни теплообменника	0,5	Тревога, остановка системы горения теплообменник/печь
	0,8	Остановка основной системы горения
	1,5	Остановка подачи высокого напряжения в электростатический осадитель
	0,5	Подачи высокого напряжения в электростатический осадитель

4.2.6.5 CO и CH_4 в рукавных фильтрах

Работающие в сверхкритической атмосфере рукавные фильтры могут также испытывать проблемы. По этой причине уровень CO необходимо поддерживать минимальным. Как и в случае с электростатическими осадителями, концентрации таких дополнительных горючих компонентов, как CH_4 и H_2, будут ниже критических, если присутствует около 2 % водорода, то критический уровень снижается до порядка 5 %.

Особыми потенциальными источниками горения могут стать в рукавных фильтрах трение искусственных волокон или в случае гибридных (представляющих сочетание электростатического осадителя и тканевого фильтра) фильтров повышенное содержание на фильтровальных рукавах статического электричества. Для предотвращения прорыва, особенно в случае угольных мельниц, рукава армируют либо сеткой из нержавеющей стали или осуществляют их заземление. Аналогично рекомендуется заземление рукавов и в гибридных фильтрах.

Как и в случае системы с электростатическим осадителем, CO необходимо удалить. Очистку угольных мельниц предпочтительно производить с помощью таких инертных газов как дымовые газы, CO_2 и N_2 [83].

4.3 Приложения – производство извести

4.3.1 Производство извести – распределение концентраций металлов в отходящих газах известеобжигательных печей стран ЕС-27

Следующие рисунки (с 4.10 по 4.25) иллюстрируют распределение концентраций различных металлов в дымовых газах стран ЕС-27 (см. также раздел 2.3.3.9) [56].

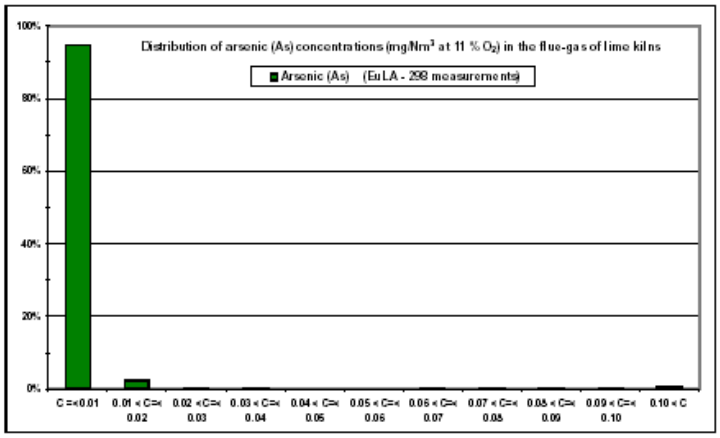

Рис. 4.10 Распределение концентраций мышьяка в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of arsenic (As) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение мышьяка (As) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

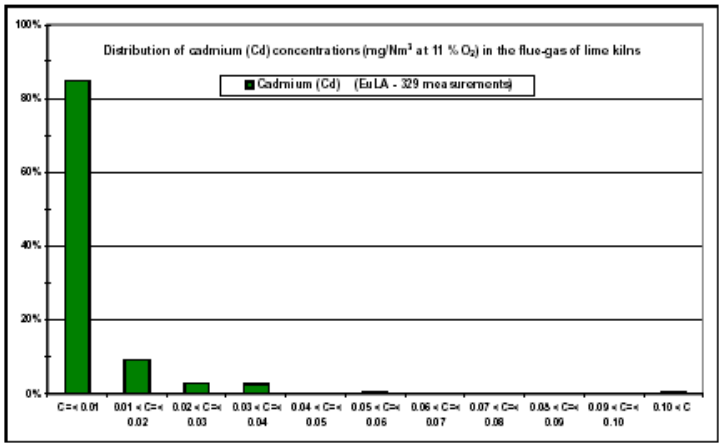

Рис. 4.11 Распределение концентраций кадмия в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of cadmium (Cd) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение кадмия (Cd) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

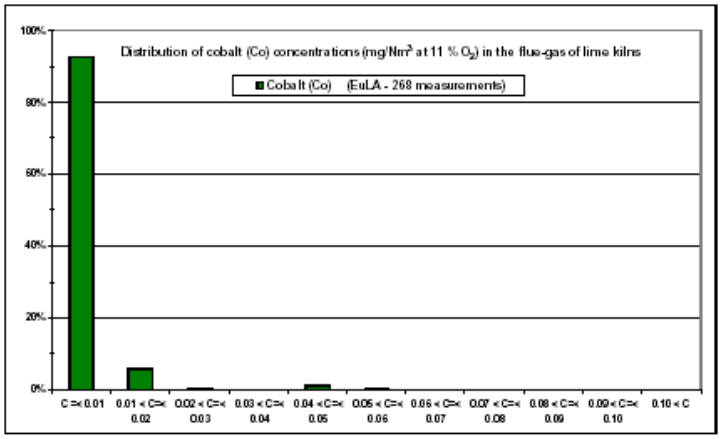

Рис. 4.12 Распределение концентраций кобальта в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of cobalt (Co) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение кобальта (Co) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

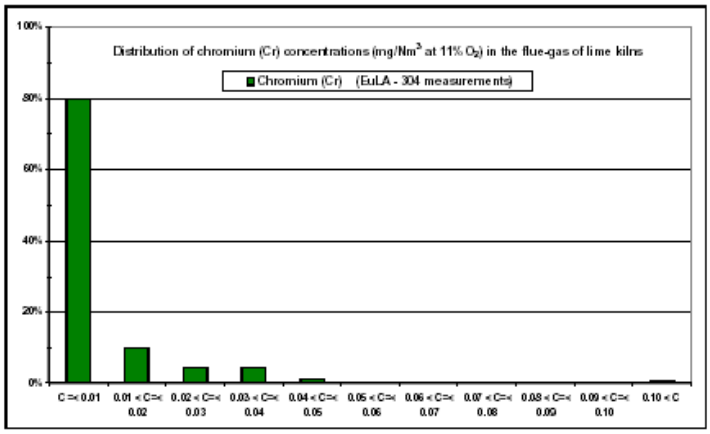

Рис. 4.13 Распределение концентраций хрома в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of chromium (Cr) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение хрома (Cr) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

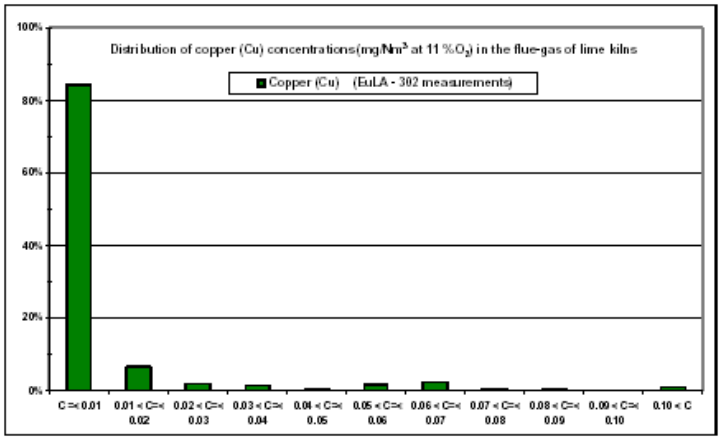

Рис. 4.14 Распределение концентраций меди в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of copper (Cu) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение меди (Cu) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

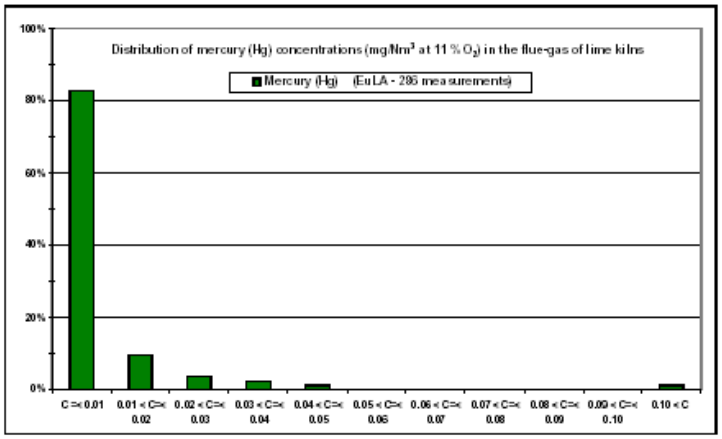

Рис. 4.15 Распределение концентраций ртути в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of mercury (Hg) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение ртути (Hg) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

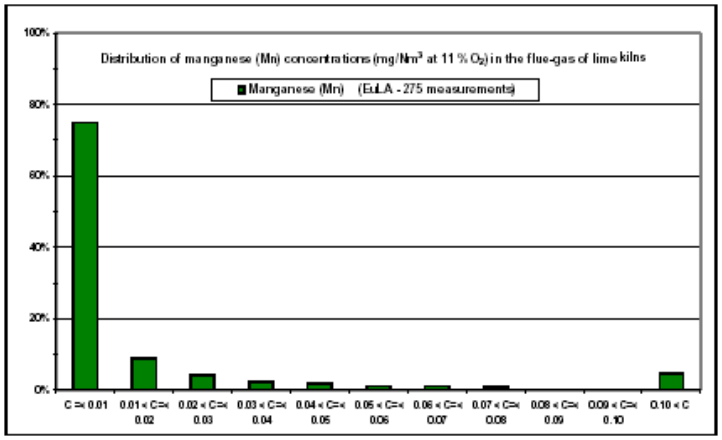

Рис. 4.16 Распределение концентраций марганца в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of manganese (Mn) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение марганца (Mn) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

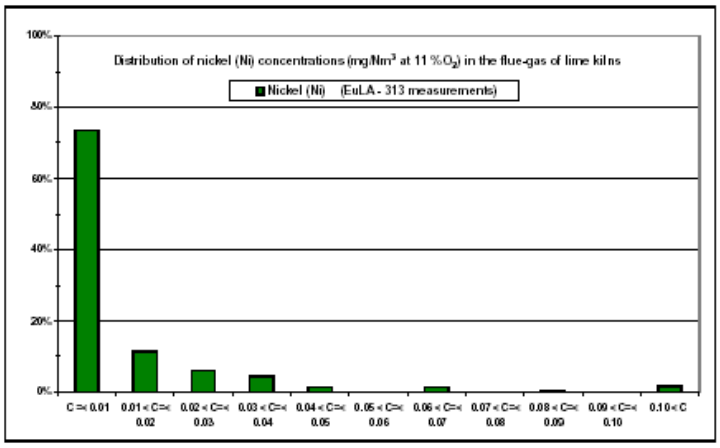

Рис. 4.17 Распределение концентраций никеля в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of nickel (Ni) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение никеля (Ni) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

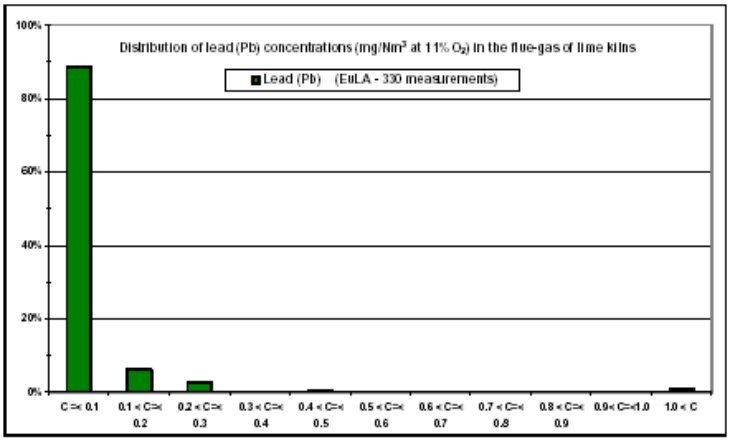

Рис. 4.18 Распределение концентраций никеля в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of lead (Pb) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение свинца (Pb) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

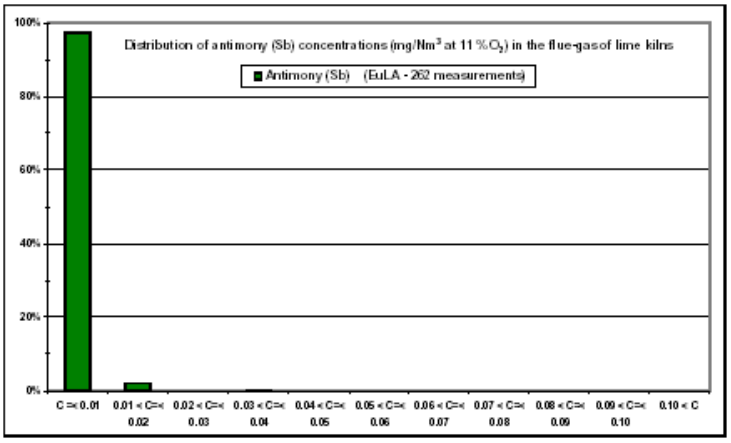

Рис. 4.19 Распределение концентраций сурьмы в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of antimony (Sb) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение сурьмы (Sb) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

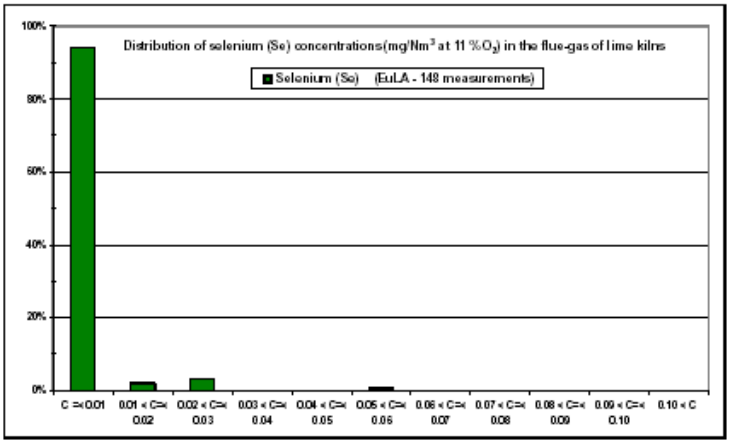

Рис. 4.20 Распределение концентраций селена в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of selenium (Se) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение селена (Se) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

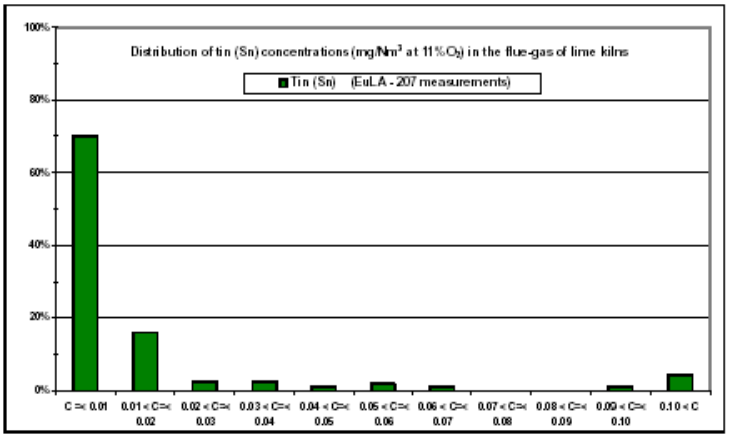

Рис. 4.21 Распределение концентраций олова в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of tin (Sn) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение олова (Sn) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

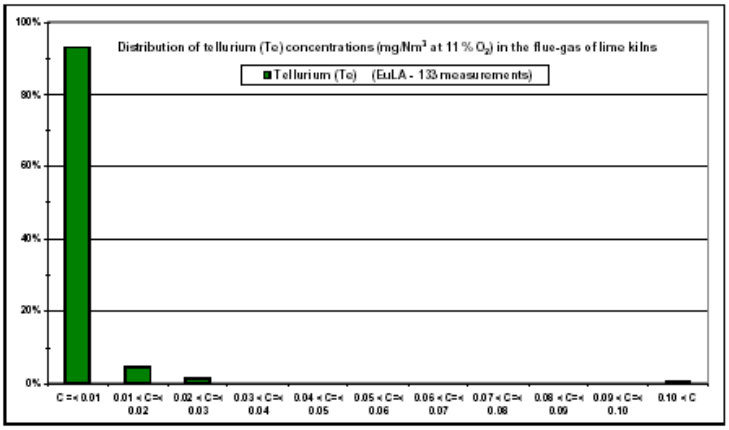

Рис. 4.22 Распределение концентраций теллура в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of tellurium (Te) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение теллура (Te) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

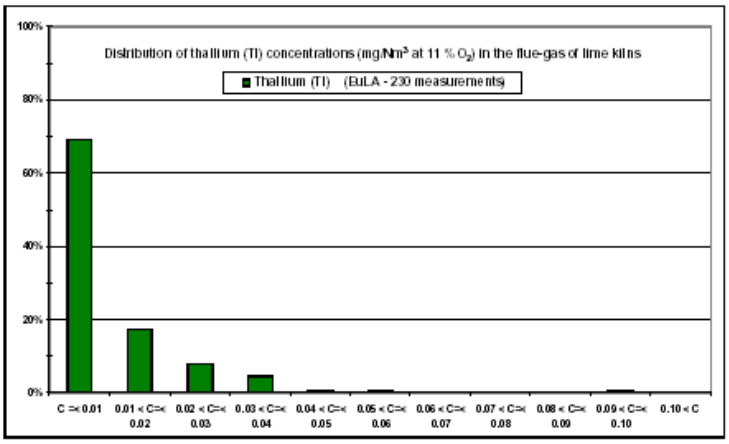

Рис. 4.23 Распределение концентраций таллия в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of thallium (Tl) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение таллия (Tl) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

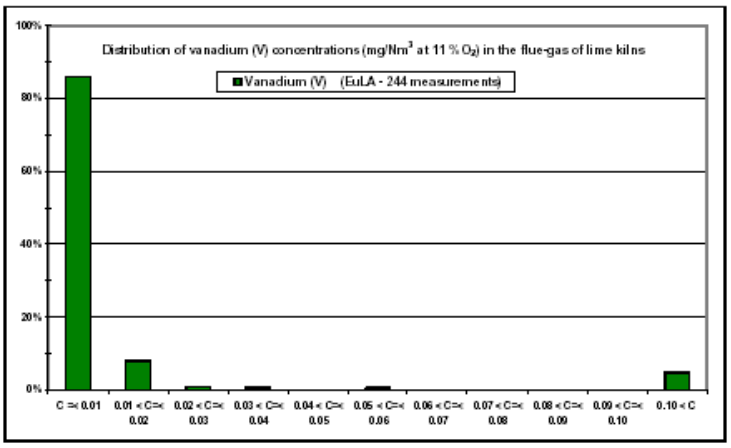

Рис. 4.24 Распределение концентраций ванадия в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of vanadium (V) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение ванадия (V) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

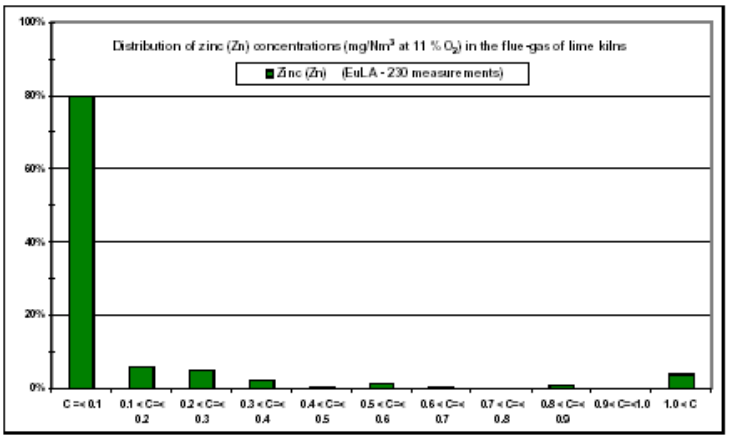

Рис. 4.25 Распределение концентраций цинка в дымовых газах известеобжигательных печей стран ЕС-27 [56]

Distribution of zinc (Zn) (mg/Nm^3 at 11 % O_2) in flue-gas of lime kilns-распределение цинка (Zn) (мг/нм^3 при 11 % O_2) в дымовых газах известеобжигательных печей

4.3.2 Производство извести – специальные характеристики завода

4.3.2.1 Примеры характеристик сырья

В табл. 4.29 приведен пример состава сырьевого материала венгерского известкового завода.

Таблица 4.29 Пример состава сырья венгерского известкового завода [70]

Параметр	Единица измерения	Содержание
SiO_2	%	0,3
Fe_2O_3	%	0,09
Al_2O_3	%	0,27
TiO_2	%	0,01
CaO	%	54,94
MgO	%	0,91
K_2O	%	0,01
Na_2O	%	0,01
SO_3	%	0,10
CO_2	%	43,05
Cl	%	<0,01
ППП	%	43,11

4.3.2.2 Использование отходов в качестве топлива - примеры содержащихся в отходах загрязняющих веществ

В табл. 4.30 приведен немецкий перечень параметров и загрязняющих веществ, которые вносятся различными видами отходов: нефтяными отходами, растворителями, животными жиром и мукой (мукой из туш). Далее, в табл. 4.31, приведены допустимые (средние и максимальные) их значения и значения теплотворных способностей.

Таблица 4.30 Типичные загрязняющие вещества, вносимые нефтяными отходами, животными жиром и мукой при использовании их в качестве топлива на германских известковых [155]

Параметр	Единица измерения	Содержание загрязняющего вещества			
		Нефтяные отходы и растворители		Животный жир	Животная мука[1)]
		Среднее	Минимальное-максимальное	Минимальное-максимальное	Минимальное-максимальное
Содержание воды	% масс.	5	3-9		3,0-5,7
Остаток кокса	% масс.	1	0,6-1,4		
Углерод	% масс.				1,0-59,0
Содержание золы	% масс.	0,8	0,4-1,2		3,2-38,
Сера	% масс.	0,8	0,5-1,2	<0,01-0,03	
Хлор	% масс.	0,2	0,05-0,04	25-32	0,18-0,37
Фтор	% масс.				0,02-0,10
Азот	% масс.			460-590	
Металлы					
Cd	мг/кг	0,1	<1	0,001-0,05	
Tl	мг/кг	<0,5	<1	<0,001-0,1	0,1-10,0
Hg	мг/кг	<0,1	<0,5	<0,01-0,8	0,05-1,0
Sb	мг/кг	<1	<5		0,4-10,0
As	мг/кг	<0,1	<1		
Pb	мг/кг	51	<100		0,7-10,0
Cr	мг/кг	3	<10		3,0-63,0
Co	мг/кг	1	<5		0,1-9,0

Cu	мг/кг	120	<250		5,2-50,0
Mn	мг/кг	5	<10		5,6-45,0
Ni	мг/кг	2	<10		1,0-39,0
V	мг/кг	<1	<1		1,1-20,0
Sn	мг/кг	<4	<4		0,3-7,2
As	мг/кг				0,6-11,0
Cd	мг/кг				0,1-1,0
∑Sb,As,Pb,Cr,Co,Cu ,Mn,Ni,V,Sn	мг/кг	<188	<400	<0,1-0,9	
∑ Ni,V	мг/кг			<0,2	
Полихлорированные бифенилы	мг/кг	10,0	25,0		

[1)]Теплотворная способность 14-21,5МДж/кг

Таблица 4.31 Пределы допустимого среднего и максимального содержания загрязняющих веществ при использовании различных отходов на немецких известковых заводах [50]

Параметр	Отход 1		Отход 2		Отход 3		Отход 4	
	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное
				мг/кг				
Hg	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,6	1,2
Cd	4,0	15,0	4,0	15,0	4,0	10,0	4,0	9,0
Tl	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	2,0
As	5,9	10,0	5,0	10,0	5,0	15,0	5,0	13,0
Co	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0
Ni	20,0	100	20,0	100	20,0	100	25,0	50,0
Sb	40,0	100,0	40,0	100,0	25,0	60,0	25,0	60,0
Pb	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	70,0	200,0
Cr	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	120,0
Cu	100	250	90	250	90	500	120	300
Mn	50	100	50	100	50	100	50	100
V	10	20	10	20	10	20	10	25
Sn	15,0	50,0	15,0	50,0	15,0	75,0	30,0	70,0
Общий Cl	7000	10000	7000	10000	7000	10000	7000	10000
Общий F	250	500	250	500	250	1000	250	1000
Be	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	2,0
Zn	400	500	400	500	400	1000	400	1000
Полихлорированные бифенилы		<3		<1		<1		<1
				% масс.				
Влага	8,0	<10	11,0	<12,5	18,0	<20	18	<20
Зола	6,0	<7,0	8,0	<9,0	11,0	<15,0	11,0	<15,0
Общая S	0,3	<0,5	0,3	<0,5	0,2	<0,3	0,2	<0,3
				МДж/кг				
Теплотворная способность	25-31		23-29		20-24		18-22	

4.3.2.3 Примеры уровней потребления и выбросов

Энергопотребление

В табл. 4.32 приведены эксплуатационные характеристики и удельные расходы энергии австрийских известеобжигательных печей. Печи различной конструкции используют в качестве топлива природный газ, тяжелый топливный мазут и нефтяной кокс.

Таблица 4.32 Эксплуатационные характеристики и удельные затраты энергии австрийских известеобжигательных печей в 2004 г. [66]

Параметр		Единица измерения	Типы печей		
			С параллельным потоком материала	Кольцевые шахтные	Другой конструкции
Мощность печи		т/сут	150-390	140-200	100-200
Удельный расход энергии		Мдж/т(извести	3500-3800	4200-4700	3800-5100
Вид топлива			Природный газ, тяжелый топливный мазут	Природный газ, тяжелый топливный мазут	Природный газ, кокс
Годовое потребление топлива(все печи)	Природный газ	млн^3	46	12	13
	Тяжелый топливный мазут	Т	4000	4500	
	Кокс	т			1000

В среднем удельный расход тепла на обжиг извести в Австрии составляет 3760 МДж/т извести. При этом из-за того, что вследствие меньших, чем в цементном производстве размеров печей, потери с излучением невелики и не столь существенную роль играет корреляция соотношения размеров печи и удельных затрат энергии. На энергозатраты большое влияние оказывает остаточное содержание CO_2 в продукте обжига, которое влияет на активность полученной извести. При обжиге сильно обожженной извести расходуется больше тепла, чем при обжиге мягко обожженной извести. Меньшие затраты тепла в регенеративных печах с параллельным потоком материала и отчасти в кольцевых печах зависит от высокого (>5 %) содержания CO_2. При изготовлении извести с пониженным содержаниемСO_2, затраты тепла возрастают [66, 168].

В табл. 4.33 приведены примеры средних затрат энергии при производстве извести в Испании. Средняя затрата тепла на обжиг извести в этой стране составляет 3984 ГДж/т извести. Ожидается, что в период 2008-2012 гг. этот параметр составит 3681 ГДж/т извести [55].

Таблица 4.33 Затраты энергии в различных типах известеобжигательных печей в Испании [55]

Типы печей	Число	Доля,%	Потребление энергии, ГДж/т извести		
			Минимальное	Среднее	Максимальное
Длинные вращающиеся (LRK)	4	7	-	6,6	-
Вращающиеся с теплообменником (PRK)	1	2	5,4	-	-
Регенеративные с параллельным потоком материала (PFRK)	35	61	3,534	3,752	3,889
Кольцевые шахтные (ASK)	2	4	3,958	4,156	4,355
Шахтные пересыпные (MFSK)	-	-	-	-	-
Печи другой конст-	15	26	4,085	4,150	4,268

рукции (ОК)[2)]

[1)]Шахтные печи других конструкций

Сопоставление выбросов в отдельных странах ЕС

В табл. 4.34 приведены типичные выбросы из различных типов известеобжигательных печей в Германии.

Таблица 4.34 Типичные примеры выбросов известеобжигательных печей в Германии [46]

Тип печи	Выбросы, мг/нм^3 [3)]				
	NO_x [1)]	CO	ПХДД/ПХДБФ, нг I-TEQ/нм^3	HCl [5)]	HF
Сильно обожженная негашеная известь					
Длинные вращающиеся (LRK)	≤500	<1000	<0,1	<50	<1
Вращающиеся с теплообменником (PRK) [2)]	≤1500	<1000	<0,1	<20	<1
Регенеративные с параллельным потоком материала (PFRK)	<100-<400	<1000	0,001-<0,1	<10	<1
Кольцевые шахтные (ASK)	<100-<500	1000-<3000	0,003-<0,1	<40	<2
Шахтные пересыпные (MFSK)	<100-<500	6000-42000	0,01-0,1 [4)]	<20	<1
Печи другой конструкции (ОК)	<500		Н.д.		
• многокамерная печь	300-	<2000	0,001-	Н.д.	Н.д.
• с двумя наклонами шахты	<500	<2000	0,1	<10	<1
Мягко обожженный до спекания доломит					
Длинные вращающиеся (LRK)	-	-	-	<150	<1
Вращающиеся с теплообменником (PRK)	-	-	-	<30	<1
Шахтные пересыпные (MFSK)				<20	<1
Использование отходов				10[6)] 60 [7)]	1 [6)] 4 [7)]

[1)] Как диоксид азота
[2)] Вращающиеся печи с колосниковым подогревателем
[3)] Как средние шестичасовых измерений, приведенные к 10 % O_2
[4)] В одном случае на печи MFSK был зафиксирован уровень 0,26 нг I-TEQ/нм^3. Печь была выведена из эксплуатации в 2006 году
[5)] зависит от содержания хлора в известняке
[6)] Средняя за день величина
[7)] Средняя за 0,5 часа величина

В табл. 4.35 приведены выбросы, зафиксированные из известеобжигательных печах некоторых стран-членов ЕС.

Таблица 4.35 Примеры выбросов из известеобжигательных печей стран ЕС [45, 46, 64, 71]

Страны	Выбросы, мг/нм^3					Тип печи	Вид топлива
	Пыль	NO_x	SO_x	CO	Суммарный органический углерод		
Германия	-	100-150	<100	-	-	Многокамерная шахтная	-
	-	<500	-	-	-	LRK	-
	-	-	-	-	<5 - >5	MFSK	-
	-				5 - <50	ASK	-
Отдельная Печь (Германия)					<1 (бензол) 995 <14,6 (бензол)	ASK	-

Финляндия	2	65	15	-	-	PFRK	Тяжелый мазут
Венгрия	1,4	32,2	4,8	3,9	-	-	Природный газ
Чешская республика		400 т/г	130 т/г				

В табл. 4.36 приведены данные относительно выбросов австрийских известеобжигательных печей. В 2006 г. не было осуществлены новые технические решения, направленные на снижение выбросов NO_x. Как сообщают, выбросы CO_2 составили от 0,007 до 0,22 г/нм^3 при высоком содержании остаточного CO_2 в извести и до 5 г/нм^3 при пониженном его содержании. Для кольцевых шахтных печей выброс CO_2 составил 0,1-3 г/нм^3, для шахтных печей другой конструкции 0,1-5 г/нм^3

Таблица 4.36 Выбросы из австрийских известеобжигательных печей [66]

Параметр	Единица измерения	Типы печей		
		Регенеративные с параллельным потоком материала (PFRK)	Кольцевые шахтные (ASK)	Шахтные печи другой конструкции (OK)
Объем газа	нм^3/ч	15000-45000	11000-20000	7500-22000
Содержание O_2	%, объем	8-12	6-15	6-17.5
Пыль	мг/нм^3		<20	
HCl	мг/нм^3		0,6-3,6	
HF	мг/нм^3		0,01- 0,14	
NO_x как NO_2	мг/нм^3	<150	<250	<250
SO_x как SO_2	мг/нм^3	<100	<10	<20
CO_2	г/нм^3	0,007-0,22 (высокое остаточное CO_2) и до 5 (низкое ост. CO_2)	0,1-3	0,01-5
Суммарный C	мг/нм^3	<100	<10	<10
∑(Cd,Tl)	мг/нм^3		0,0001-0,002	
Hg	мг/нм^3		0,0001-0,003	
∑ Sb,As,Pb,Cr,Co, Cu,Mn,Ni,Sn	мг/нм^3		0,0001-0,0052	
ПХДД/ПХДФ	нг I-TEQ/ нм^3	<0,05	<0,03	<0,03
Бензол	мг/нм^3		<0,04	
Бензоперен	мг/нм^3		<0,0003	

В табл. 4.37 приведены примеры выбросов некоторых известковых заводов Финляндии, собранные в период 1998-2006 гг. В качестве топлива в стране используют уголь, кокс, тяжелый или легкий мазут, коксовый газ или нефтяной кокс, но не используют в качестве топлива отходов. В 2005 г. выброс пыли из вращающейся печи с электростатическим осадителем составил меньше 5 мг/нм^3, оснащенные рукавными фильтрами кольцевые шахтные печи характеризовались пылевыбросами 1,7-2,2 мг/нм^3. В табл. 4.38 приведены примеры выбросов металлов финского известкового завода, использующего в качестве топлива продукт переработки нефти.

Выбросы, мг/нм^3	Завод	Тип печи	Фильтр	Топ-ливо	1998 г.	O_2[6], %	1999 г.	O_2[6], %	2000 г.	O_2[6], %	2001 г.	O_2[6], %	2002 г.	O_2[6], %	2003 г.	O_2[6], %	2004 г.	O_2[6], %	2005 г.	O_2[6], %	2006 г.	O_2[6], %
Пыль	1	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	<10	6	32-18	7	<5и13	6,7	5	6,4	<5	6,1	<5	9,3	<5[7]	12,5	<5	6		
		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	156-113	10			192 и 9	10,7	14[7]	11	<5[7]	11	<5	10,9	34-41[7]	11,6	<5[7]	11		
	2	LRK[1]	ЭФ[4]	У							26-40	7			63-48	7,2-10					85-114	6,6
	3	LRK[1]	ЭФ[4]	У					1-243[8]	4,5							38-54	5,2				
		ASK[2]	РФ	ТНТ ЛНТ					12[7]	11,9							0,7-1,1	4,3	2,2-1,7	5		
	4	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К			2468	6,5					130-149	7,2			255-335[7]	12,6	154-229	8		
	5	PRFK[3]	РФ[5]	К, Г	62								5				6	9,6				
		PRFK[3]	РФ[5]	К, Г	38								5				79	9,6				
	6	PRFK[3]	РФ[5]	РНТ															1,8[9]			
NO_x	1	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	868	6	620	7	771± 120, 910	6,7		6,4	898± 135	6,1	645± 100	9,3	685± 100[7]	12,5	800± 160	6		
		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	722	10	-	-	810	10,7	610[7]	11	563± 110[7]	11	730± 140	10,9	890± 110[7]	11,6	970± 200[7]	11		
	2	LRK[1]	ЭФ[4]	У							280	7			522-399	7,2-10					393[9]	6,6
	3	LRK[1]	ЭФ[4]	У					507	4,5							157-160	5,2				
		ASK[2]	РФ	ТНТ ЛНТ					167-101[7]	11,9							243	4,3				
	4	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К			338[10]	6,5					590-440	7,2			616[7]	12,6	411-479[11]	8		
	5	PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
		PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
	6	PRFK[3]	РФ[5]	РНТ															67[9] [10]			
SO_2	1	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	475	6	110	7	258± 40	6,7		6,4	173± 34	6,1	240± 35	9,3	950± 90[7] 214	12,5	241± 50	6		
		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	390	10	-	-	350	10,7	330[7]	11	210± 40[7]	11	340± 50	10,9	410± 60[7]	11,6	138± 28[7]	11		
	2	LRK[1]	ЭФ[4]	У							<10	7			165-126	7,2-10					332-350	6,6
	3	LRK[1]	ЭФ[4]	У						4,5								5,2				
		ASK[2]	РФ	ТНТ ЛНТ						11,9							11	4,3				
	4	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К			143	6,5					66-142	7,2			851[7]	12,6		8		
	5	PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
		PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
	6	PRFK[3]	РФ[5]	РНТ															15,9[9]			

Выбросы, мг/нм^3	Завод	Тип печи	Фильтр	Топ-ливо	1998 г.	O_2[6], %	1999 г.	O_2[6], %	2000 г.	O_2[6], %	2001 г.	O_2[6], %	2002 г.	O_2[6], %	2003 г.	O_2[6], %	2004 г.	O_2[6], %	2005 г.	O_2[6], %	2006 г.	O_2[6], %
CO_2	1	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	476	6	430	7	467± 72, 453	6,7		6,4	432± 70	6,1	360± 55	9,3	260± 60[7]	12,5	475± 70	6		
		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	320	10	-	-	310	10,7	300[7]	11	303± 16	11	340± 45	10,9	280± 60[7]	11,6	285± 43[7]	11		
	2	LRK[1]	ЭФ[4]	У								7			424-324	7,2-10						6,6
	3	LRK[1]	ЭФ[4]	У					290	4,5								5,2				
		ASK[2]	РФ	ТНТ ЛНТ					292[7]	11,9								4,3				
	4	LRK[1]	ЭФ[4]	У, К			490	6,5						7,2						8		
	5	PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
		PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
	6	PRFK[3]	РФ[5]	РНТ																		
CO		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	67	6	4	7	31	6,7		6,4	1	6,1	4	9,3	11[7]	12,5		6		
		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К	68	10	-	-	65	10,7	42[7]	11	80[7]	11	160	10,9	80± 60[7]	11,6	22[7]	11		
		LRK[1]	ЭФ[4]	У							120	7			14	7,2-10					25,7-27	6,6
		LRK[1]	ЭФ[4]	У						4,5								5,2				
		ASK[2]	РФ	ТНТ ЛНТ						11,9								4,3				
		LRK[1]	ЭФ[4]	У, К			56	6,5					94	7,2			3,8[7]	12,6	336	8		
		PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
		PRFK[3]	РФ[5]	К, Г																		
		PRFK[3]	РФ[5]	РНТ															65			

[4] Электрофильтр
[5] Рукавный фильтр
Топливо:
У – уголь
К – кокс
ТНТ – тяжелое нефтяное топливо
ЛНТ – легкое нефтяное топливо
РНТ – регенерированное нефтяное топливо

[6] Стандартное содержание O_2
[7] Содержание $O_2 \geq 11$ %
[8] Кроме фильтра
[9] Количество обожженного продукта 310 т/сутки
[10] NO_2
[11] NO

Таблица 4.37 Выбросы в период 1999-2006 гг. пыли, NO_x, SO_x, CO и CO_2 нескольких финских заводов, оснащенных печами различной конструкции [63, 65]

Таблица 4.38 Выбросы металлов финскими известковыми заводами [46]

Металл	Единица измерения	Выбросы
Cd	мг/нм^3	0,05/0,08
Ti	мг/нм^3	0,30/<1,6
Hg	мг/нм^3	0,001/0,026
Sb	мг/нм^3	0,5/<1,6
As	мг/нм^3	<0,2/1,9
Pb	мг/нм^3	5,2/6,0
Cr	мг/нм^3	0,7/15
Co	мг/нм^3	0,14/1,3
Cu	мг/нм^3	0,32/7,2
Mn	мг/нм^3	3,6/6,0
Ni	мг/нм^3	3,0/6,0
V	мг/нм^3	<0,1/37

4.3.3 Производство извести - пример подачи нефтяных отходов в шахтную печь ОК

Для перевода на использование нефтяных отходов отапливаемой газообразным топливом шахтной печи, относящихся к печам ОК, необходимо модернизировать горелки и построить соответствующую инфраструктуру для погрузки и хранения нефтяных отходов.

Как показано на рис. 4.26, в этом особом случае нефтяные отходы доставляют на известковый завод железнодорожным или автомобильным транспортом (т.е в цистернах). Для хранения топлива были сооружены два резервуара с двойными стенками вместимостью по 100 м^3 каждый. Нефтяные отходы из вагонов или из автоцистерн подают на хранение в резервуары, установленные на специальной площадке для предотвращения утечки. Поверхностную (дождевую) влагу удаляют с помощью сепаратора. В том случае, если загрузочная площадка отвечает всем требованиям, её также используют для очистки и заправки различных транспортных средств.

В процессе выгрузки из транспортных средств нефтяные отходы перетекают по шлангу, присоединенному к стальной трубе, к первой насосной и фильтровальной станции и по подземным двухстенным трубам подаются в два резервуара вместимостью по 100 м^3 каждый. При производительности 250-350 т/сутки такое хранилище обеспечивает работу печи в течение примерно одной недели.

Как показано на рис. 4.27, из резервуаров топливо перетекает на вторую насосную станцию, расположенную в непосредственной близости от печи. Питающий насос направляет топливо к еще одному фильтру и в систему электроподогрева, где осуществляется его нагрев до 60-80 ^{0}С. Такие температуры необходимы для снижения вязкости жидкого топлива и улучшения его диспергирования в горелке и оптимального горения. По восходящим трубам нагретое топливо поступает в измерительное и дозирующее устройство, показанное на рис 4.28, а оттуда – в отдельные горелки. В горелках топливо смешивается с воздухом и полученная смесь впрыскивается в печь.

В процессе горения такого отфильтрованного топлива не образуется отходов. Отходы образуются только в процессе фильтрации. Отфильтрованный материал очищают, собирают и хранят в специальных контейнерах [50, 51].

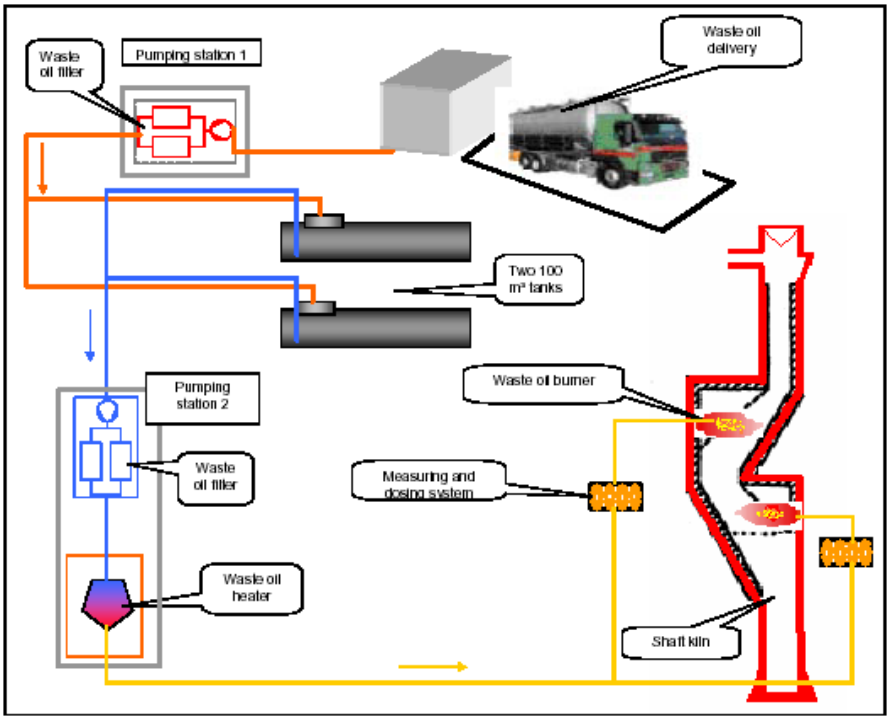

Рис 4.26 Принципиальная схема циркуляции нефтяных отходов – от поставки до шахтной печи

Waste oil filter- фильтр для нефтяных отходов;Pumping station 1-насосная станция 1 ;Waste oil delivery- доставка нефтяных отходов;Two 100m^3 tanks- два резервуара по 100м^3 ; Pumping station 2-насосная станция 2 ;Waste oil burner –горелка для нефтяных отходов ; Waste oil heater- подогрев нефтяных отходов ; Measuring and dosing system-система измерения и дозирования ;Shaft kiln- шахтная печь.

Рис. 4.27 Насосная станция 2 с фильтром и контейнером для сбора отфильтрованного материала

Рис. 4.28 Система для измерения и дозирования с пневматическими клапанами

4.3.4 Производство извести - пример контроля качества твердых отходов, используемых в качестве топлива во вращающихся печах

Приводимый ниже пример немецкого известкового завода иллюстрирует типичные требования к твердым отходам, используемым на четырех вращающихся печах с запечным теплообменником. Для снижения выбросов пыли эти вращающиеся печи оборудованы циклонами и электростатическим осадителем. Для снижения выбросов NO_x используется

технология SNCR (селективного некаталитического восстановления) (см. раздел 4.3.5). Типичные температуры обжига во вращающихся печах находятся в пределах 1000-1400 ^{0}C.

В качестве топлива в таких печах используют измельченный лигнит, природный газ и горючие твердые отходы. Твердые отходы поставляют специализированные компаниями, занимающимися сбором и смешиванием отходов. Допускается до 60 % тепла получать за счет использования горючих отходов. В 2006 г. замещение топлива отходами составило 10 %. Прежде, чем горючие отходы поступят в горелку, из них магнитным сепаратором выделяют металлические включения.

Подбор различных отходов для использования в качестве топлива в известеобжигательной печи определяется требованиями, которые предъявляют процесс обжига и качество продукции. В рассматриваемом случае используемые в качестве топлива отходы приготовлены из предварительно обработанных и сортированных фракций отходов с пониженным содержанием загрязняющих веществ (главным образом пластиков) с определенной теплотворной способностью. Их происхождение и классификация согласно Европейскому каталогу отходов (2000/532/ЕС) точно определена [98]. В табл. 4.39 приведены виды горючих отходов, которые можно использовать в таких вращающихся печах [50, 51].

Таблица 4.39 Перечень отходов, которые можно использовать в качестве топлива в немецких известеобжигательных печах [50, 51, 98]

Код отхода	Общее описание
02 01 04	Отходы пластиков(кроме упаковки)
02 01 07	Отходы лесного хозяйства
03 01 01	Отходы коры и древесины
03 01 05	Опилки, стружки, обрезки древесины, кусочки досок и фанеры, кроме упомянутых в 03 01 04
03 03 02	Не загрязняющие окружающую среду отходы сточных вод
03 03 07	Механически отделенные бумажные и картонные отходы
03 03 08	Отходы сортировки бумаги и картона не пригодные для регенерации
04 02 09	Отходы композиционных материалов(пропитанные текстильные материалы, эластомеры и пластомеры)
04 02 21	Отходы неиспользованного текстильного волокна
04 02 22	Отходы использованного текстильного волокна
07 02 13	Отходы пластиков
08 01 02	Отходы красок и лаков, кроме упомянутых в 08 01 11
08 02 01	Отходы порошков окрашенных материалов
09 01 07	Фотографические пленка и бумага, содержащая серебро или его соединения
12 01 05	Стружка и порошки из пластика
15 01 01÷03	Упаковочные бумага, картон, пластик и древесина
15 01 05÷06	Смешанная тара
15 02 03	Поглотители, фильтровальные материалы, ветошь и защитная упаковка кроме упомянутой в 15 02 02
16 01 03	Изношенные автопокрышки
17 02 01	Древесина
17 02 03	Пластики
19 05 01	Муниципальные и сходные отходы
19 12 01	Бумага и картон
19 12 04	Пластики и резина
19 12 07	Древесина, кроме упомянутой в 19 02 06
19 12 08	Текстильные материалы
19 12 10	Горючие отходы обработки топлива

Требования к твердым отходам определяются разрешающей инстанцией. У каждого поставщика топливо должно быть готово к использованию и отличаться только тем, что в его состав входят отходы, упомянутые в табл. 4.39.

Для контроля качества топливо из отходов подразделяют на четыре категории, учитывающие истинную теплотворную способность и химический состав.

Используется два приведенных в табл. 4.40 статистических параметра, регулирующих поступление металлов в печь:

- среднее значение(= 50 %), которое также называют «практической» величиной. Оно основано на практическом опыте и учитывает возможные изменения состава топлива;
- максимальное значение (= 100 %).

Таблица 4.40 Средние и максимальные концентраций металлов в различных видах используемых в качестве топлива отходах [50, 51]

Загрязняющее вещество	Топливо «1»		Топливо «2»		Топливо «3»	
	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное
				мг/кг		
Hg	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0
Cd	4,0	15,0	4,0	15,0	4,0	10,0
Tl	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
As	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	15,0
Co	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0
Ni	20,0	100,0	20	100	20	100
Sb	40	100	40	100	25	60
Pb	40	100	40	100	40	100
Cr	40	100	40	100	40	100
Cu	100	250	90	250	90	500
Mn	50	100	50	100	50	100
V	10	20	10	20	10	20
Sn	20	50	20	50	15	75
$Cl_{общ}$	7000	10000	7000	10000	7000	10000
$F_{общ}$	250	500	250	500	250	1000
Be	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	5,0
Zn	400	500	400	500	400	1000
				%% по массе		
Влага	8,0	<10,0	11,0	<12,5	18,0	<20,0
Зола	6,0	<7,0	8,0	<9,0	11,0	<15,0
$S_{общ}$	0,3	<0,5	0,3	<0,5	0,2	<0,3
Полихлорированные бифенилы	-	<3	-	<1	-	<1

Для примера в табл. 4.41 приведены значения истинной теплотворной способности всех четырех используемых в качестве топлива отходов [50, 51].

Таблица 4.41 Средние и максимальные значения истинной теплотворной способности используемых в качестве топлива отходов [50, 51]

Истинная теплотворная способность, МДж/кг	Топливо «1»		Топливо «2»		Топливо «3»		Топливо «4»	
	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное
	25	31	23	29	20	24	18	22

Выполняется регулярный отбор проб используемых в качестве топлива отходов. Индивидуальные образцы делят на отдельные пробы, которые впоследствии смешивают друг с другом. Спустя определенное время смешанные образцы отбирают и проверяют, насколько они отвечают требованиям табл. 4.40.

При использовании в качестве топлива отходов наиболее важно обеспечить гарантии качества и свойств. В табл. 4.42 иллюстрируются примеры мероприятий, обеспечивающих качество.

Таблица 4.42 Примеры мероприятий, направленных на гарантирование качество отходов [156]

Стадии процесса	Мероприятия	Дополнительные мероприятия
Источник отхода (изготовитель отхода, сортировщик, механико-биологическая обработка)	• перечень отходов; • удаление примесей; • обусловить приемлемое качество каждого вида отходов; • декларированный анализ; • документирование данных о количестве складируемых отходов	• инструкция изготовителя отходов поставщику отходов; • регулярный контроль предприятия - изготовителя отхода поставщиком отходов
Предприятие, обрабатывающее отходы	• (регулярный) отбор проб и анализ; • сохранение проб; • ведение документации о количествах поступающих и обработанных отходов	• (регулярный) отбор проб и анализ поступающих обработанных отходов внешним экспертом
Обрабатывающая отходы установка	• регулярный отбор проб и анализ; • сохранение проб; • ведение документации о количествах отпускаемых отходов	
Известковый завод	• регулярный отбор проб и анализ; • сохранение проб; • ведение документации о количествах поступающих отходов	

4.3.5 Известковое производство - пример денитрификации отходящих газов с помощью технологии SNCR во вращающихся печах с запечным теплообменником

На заводе Фланерсбах в Германии на четырех оборудованных запечным теплообменниками вращающихся печах внедрены первичные и вторичные мероприятия по снижению выбросов NO_x. На одной из печей установлена новая горелка, но её вклад в выброс NO_x был ограничен. В результате практического опыта установлено, что повышенная концентрация кислорода в зоне горения оказывает на этот выброс существенно большее воздействие. Таким образом, необходимо регулировать атмосферу в печи с целью снижения концентрации кислорода. Однако по-видимому эта мера оказывается недостаточной чтобы обеспечить постоянный уровень выбросов ниже 500 мг/нм^3. При производстве сильно обожженной извести выброс NO_x при стабильно работающей печи превышает 1000, иногда и даже 2000 мг/нм^3, когда необходимо повышенное количество воздуха для предохранения от перегрева холодильника извести.

Вследствие температурных условий под колосниковой решеткой Леполь возможно снизить выброс NO_x вдуванием туда восстановителя . Поэтому были проведены эксперимен-

ты по инжектированию с различной скоростью в различных участках различных жидкостей с целью оптимизировать проект описанной ниже промышленной установки для технологии SNCR.

Общие положения

Жидкие добавки восстановителя доставляют грузовиками и хранят в двух резервуарах. Затем жидкую добавку перекачивают к колосниковой решетке Леполь, где её впрыскивают в горячие камеры сжатым воздухом, используемым для атомизации, и смешивают с дымовыми газами. Оборудование рассчитано на использование раствора аммиака с концентрацией 25 % и отвечает требованиям безопасности при работе с опасными веществами.

Заполнение резервуаров

Раствор из оборудованного цистерной грузовика с помощью насоса подают в двухстенный, гарантирующий от протечек шланг и в двойной фильтр, удерживающий вредные включения. После регистрации в заводоуправлении водитель получает разрешение на разгрузку. Процедура заполнения не начинается до тех пор, пока грузовая цистерна не заземлена. Заполнение останавливается автоматически, когда резервуар полон или от системы мониторинга давления на фильтре поступил сигнал о максимальном заполнении. Водителю необходимо новое разрешение для присоединения к другому резервуару или фильтру.

Складирование

Два резервуара вместимостью по 80 м^3 каждый оборудованы системой безопасности и контрольным оборудованием. Для исключения превышения давления и возникновения вакуума на резервуарах установлены чувствительные к давлению клапаны и осуществляется мониторинг давления в этих ёмкостях.

Дозирование

На каждой решетке Леполь установлен насос, производительность которого контролируется путем изменения частоты питающего напряжения. Каждый дозирующий насос может работать с одним из двух резервуаров. Для предотвращения превышения давления насосы оборудованы для стравливания давления блокирующей системой клапанов. Для аварийной ситуации при выходе из строя одного из дозирующих насосов установлен один резервный насос, который подключается к соответствующей точке впрыскивания.

Дополнительное окно позволяет промывать систему трубопроводов и фильтры технической водой до ввода в эксплуатацию, Каждое атомизирующее сопло работает в заданном определенном режиме скорости потока. Для того, чтобы обеспечить оптимальные условия впрыскивания для атомизирующих сопел, необходимо контролировать скорость потока. Если скорость потока падает ниже предварительно заданного значения, т.е. потребность в вводе восстановителя низкое, в систему для компенсации добавляют техническую воду. Предусмотрено устройство для складирования и разбавления высококонцентрированной добавки, для обеспечения наилучшего её распределения в потоке дымовых газов и, таким образом, повышения эффективности. При необходимости, когда концентрация оксидов азота понижена, а необходима высокая скорость восстановления, к точке впрыскивания подключают другую трубку. Контрольная система позволяет различать, низкая или высокая концентрация в резервуарах и в связи с этим использовать различные режимы дозирования.

Вся система трубопроводов для предотвращения размораживания в зимний период и кристаллизации при использовании жидкой мочевины, оборудована системой обогрева.

Расположение форсунок

Расположение точек впрыска определяли во время испытаний на заводе. Выбранные точки позволяют обеспечить хорошее поступление и смешивание восстановителя с дымовым газом на участке, где мала возможность образования обмазки, которая может нарушить процесс впрыскивания. На рис. 4.29 показаны соответствующие точки.

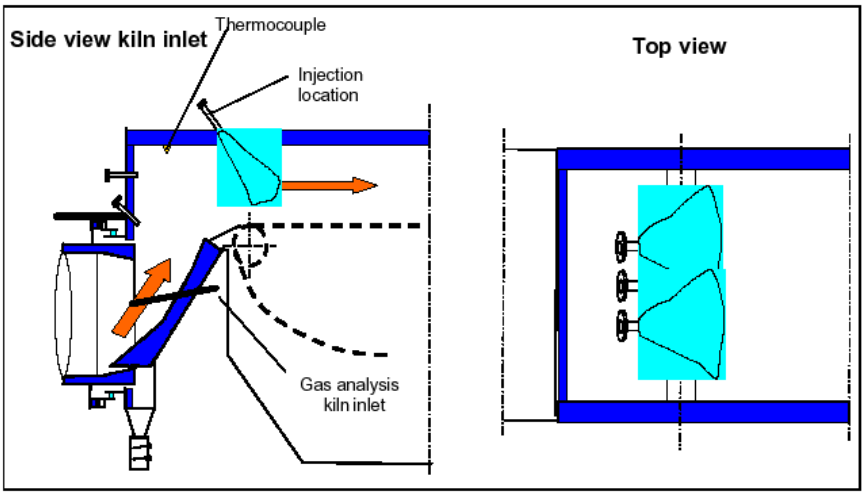

Рис. 4.29 Расположение точек впрыскивания при осуществлении технологии SNCR [93]

Side view kiln inlet- вид сбоку; Top view-вид сверху ; Thermocouple-термопара ; Injection location- участок впрыскивания ;Gas analysis kiln inlet- анализ газа в на входе в печь

Эксплуатация

Монтаж установки был завершен в июле 2006 г. и пусковая фаза завершилась в конце августа 2006 г. С тех пор установка работает без появления существенных неисправностей. Установлена необходимость внести усовершенствования, потребность в которых была выявлена в процессе пуска и эксплуатации.

Эффективность удаления выбросов

По-видимому достижима степень снижения выбросов 50 – 60 %, таким образом возможно, что среднесуточный уровень выбросов NO_x останется ниже 500 мг/нм^3. В принципе возможны и меньшие выбросы NO_x, но это приведет к существенному проскоку аммония. Измерения, проведенные для различных технологических режимов и условий впрыскивания, показали, что выброс оксида азота N_2O всегда остается ниже 10 мг/нм^3.

Затраты

Стоимость инвестиций примерно такая же, как вышеупомянутая для цементной промышленности, т.е. от 0,5 до 1,2 млн. евро. Вследствие того, что оборудование находится в эксплуатации в течение короткого времени, трудно точно оценить эксплуатационные расходы. Финансовые оценки основаны на предварительных опытах, показывающих, что эксплуатационные расходы аналогичны зафиксированным в цементной промышленности, т.е. 0,1-1,7 евро/т извести (печь характеризуется производительностью 1000 т/сутки), а начальный выход NO_x составляет 1500 мг/нм^3.