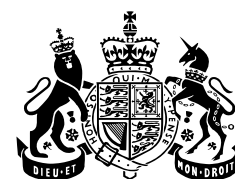


Энергопотребление в стеклотарном производстве



Материалы подготовлены на основе одноименного отчета (3 издание, 2005 г.) Британской правительственной программы The Carbon Trust (<http://www.carbontrust.co.uk/>).

Документ подготовлен РОО «Эколайн» в рамках проекта «Пропаганда энергоэффективности и снижения выбросов парниковых газов в стекольной промышленности России», выполняющегося при поддержке Министерства иностранных дел Великобритании в рамках Фонда глобальных возможностей (GOF).



Содержание

Введение.....	2
Стеклотарное производство в Великобритании.....	2
Особенности и характеристики типичного процесса производства стеклотары.....	2
Использование энергии в производстве тарного стекла.....	3
Потребление и стоимость различных видов топлива.....	4
Основные области энергопотребления.....	5
Потребление энергии на стекловарение.....	6
Корреляция между энергопотреблением и производительностью печей.....	7
Эффективность стекловаренных печей.....	7
Другие факторы, влияющие на энергоэффективность.....	8
Использование стеклобоя.....	8
Облегченная стеклотара.....	12
Возможности совершенствования энергоэффективности.....	13
Улучшение теплоизоляции печи.....	13
Сжатый воздух.....	13
Улучшение контроля работы печи.....	14
Улучшение контроля процесса сжигания топлива.....	14
Предварительный подогрев стеклобоя.....	14
Уплотнение (герметизация) горелок.....	14
Рекуперация тепла.....	14

Введение

Развитие стеклотарного производства характеризуется серьезными успехами в сокращении энергопотребления и, тем самым, в снижении одной из самых значимых статей затрат. За последние 20 лет удельное потребление энергии (на тонну продукции) сократилось вдвое. Одновременно с этим было достигнуто и последовательное снижение массы изделий. Таким образом, удельное потребление энергии, отнесенное к единице продукции, сократилось на 60-70%.

Несмотря на хорошую результативность стеклотарной подотрасли, дальнейшие возможности в области улучшения энергоэффективности по-прежнему существуют. В рамках Соглашения об изменении климата Британская конфедерация производителей стекла достигла договоренности о снижении «климатических» платежей при условии обеспечения выполнения программы последовательного снижения энергопотребления вплоть до 2013 года.

Стеклотарное производство в Великобритании

В Великобритании стеклотару производят семь компаний; 31 стекловаренная печь размещена на 14 площадках. Общий объем производства составляет 7450 тонн стекломассы в сутки (или 2719 тысяч тонн в год). В 2003 году коэффициент использования стекла составил в среднем 0,85. Из 2364 тысяч тонн стекломассы было произведено 2022 тонны или 7390 миллионов штук годной продукции при средней массе изделий 274 грамма. В период с 1996 по 2003 год продажи стеклотары (прежде всего, пивной и для различных настоек и ликеров) возросли на 13%.

Последовательное повышение коэффициента использования стекла (выхода годной продукции), улучшение упаковки, наметившаяся тенденция к сокращению массы изделий привели к тому, что прирост продаж был достигнут за счет лишь 7% увеличения массы годной продукции и, одновременно, некоторого снижения (на 0,8%) количества сваренной стекломассы (см. табл. 1). В настоящее время основная часть продукции представляет собой стеклотару из бесцветного стекла для напитков, пищевых продуктов и табака.

Табл. 1. Характеристики стеклотарного производства Великобритании в 1996 и 2003 годах

Характеристики	1996	2003	Изменение
Стекломасса, тысячи тонн	2 383	2 364	-0,8
Годная продукция, тысячи тонн	1 886	2 022	+7,2
Выход годной продукции, %	79,1	85,5	+8,1
Количество штук, миллионы	6 540	7 390	+13,0
Средняя масса изделий, граммы	288	274	-4,9

Особенности и характеристики типичного процесса производства стеклотары

Средняя стоимость шихты составляет около 40 фунтов стерлингов на 1 тонну готовой продукции. В загрузку вводится также стеклобой, что дает возможность сократить затраты энергии. При этом следует отдельно рассматривать собственный стеклобой, образующийся на предприятии (брак, бой и т.п.) и сторонний (привозной) стеклобой, поступающий на предприятие из различных источников. На стеклотарном заводе обычно образуется до 10% собственного стеклобоя, который полностью используется для приготовления загрузки стекловаренной печи. В настоящее время сторонний стеклобой является преобладающим сырьевым

компонентом производства стеклотары; некоторые предприятия, выпускающие зеленую бутылку, работают на загрузках, содержащих более 90% стеклобоя.

Крупные стекловаренные печи работают непрерывно при температурах до 1600 °С. Обычно кампания печи длится около 10 лет, после чего печь перестраивается в ходе холодного ремонта. Затраты на сооружение печи зависят от ее производительности; в среднем печь производительностью 300 тонн стекломассы в сутки обходится в 6 миллионов фунтов стерлингов.

Основная доля энергии, используемой на стекольном предприятии (около 70%), затрачивается на реализацию процесса стекловарения. Эффективная крупная печь затрачивает 3960 МДж энергии на тонну стекломассы. Таким образом для работы печи производительностью 300 тонн стекломассы в сутки ежедневно требуется приблизительно 32000 м³ природного газа. Стекловаренная печь служит основным источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (см. табл. 2).

Табл. 2. Типичные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стекольных печей

Загрязняющие вещества	Типичные концентрации в отходящих газах, мг/м³
Пыль (взвешенные частицы)	80-140
Оксиды серы (в пересчете на SO ₂)	500-700
Хлористоводородная кислота (HCl)	10-50
Соединения фтора (HF)	1-15
Оксиды азота (в пересчете на NO ₂)	750-1500

Большие объемы производства определяют необходимость автоматизации упаковки и отгрузки. Многие потребители стеклотары работают по принципу «точно вовремя» (just in time); в связи с этим к планированию на стеклотарных предприятиях предъявляются весьма жесткие требования.

Использование энергии в производстве тарного стекла

Таблица 3, отражающая статистические данные по использованию энергии, подготовлена по результатам исследования, выполненного в 2003 году; для сравнения представлены также данные за 1996 год. Снижение общего энергопотребления за этот период (1996-2003) составило 792 ТДж (4,5 %).

Табл. 3. Характеристики энергопотребления в производстве тарного стекла

Характеристики энергопотребления	2003 г.	1996 г.
Энергопотребление, ТДж	16 704	17 496
Количество произведенной стекломассы, т/год	2 364 000	2 383 000
Количество годной продукции, т/год	2 022 000	1 886 000
Количество произведенных единиц продукции, млн.шт./год	7 391	6 540
Удельное энергопотребление, ГДж/т стекломассы	7,06	7,96
Удельное энергопотребление, ГДж/т годной продукции	8,28	10,04
Усредненная стоимость 1 ГДж энергии, фунты стерлингов	3,23	3,05
Общая стоимость энергии, использованной на предприятиях, фунты стерлингов на тонну стекломассы	21,81	21,61
Общая стоимость энергии, использованной на предприятиях, фунты стерлингов на тонну годной продукции	26,68	27,52

Потребление и стоимость различных видов топлива

Природный газ — основной вид топлива, используемый при производстве тарного стекла. Практически все предприятия этой подотрасли, расположенные в Великобритании, используют природный газ. Только две печи одного предприятия в Северной Ирландии, удаленного от газопроводов, продолжают потреблять мазут. Газ обычно покупается по тарифу, который предполагает возможность временной приостановки поставок, а печное топливо служит в качестве резервного. В некоторых случаях применяется и дополнительный электрообогрев (около 5% от общего энергопотребления)*.

Относительная стоимость различных видов топлива и энергии приведена в табл. 4. В среднем цена 1 ГДж энергии, потребляемой для стекловарения, составляла 2,37 фунта стерлингов, что соответствовало удельным затратам на стекловарение 12,51 фунта стерлингов на тонну сваренной стекломассы.

Табл. 4. Стоимость основных видов топлива и энергии

Виды топлива и энергии	Стоимость, фунты стерлингов за ГДж	
	2003 год	1996 год
Электроэнергия	8,29 (29,84 за 1 МВт)	10,56 (38,02 за 1 МВт)
Природный газ (гарантированные поставки)	2,36	2,27
Природный газ (поставки могут быть приостановлены)	2,22	1,54
Мазут	3,51	2,29

* Дополнительный электроподогрев применяется для улучшения процесса гомогенизации путем усиления конвективных токов в расплавленной стекломассе. В ряде случаев электроподогрев может быть использован для быстрого наращивания производительности печи.

Основные области энергопотребления

Наибольшая часть энергии в производстве тарного стекла расходуется на работу печи (72%). Другими значимыми областями энергопотребления являются питатели (5%) и леры (5%). Основная часть электроэнергии расходуется на работу компрессоров, обеспечивающих сжатым воздухом процесс формования изделий (5% в общем потреблении энергии). Также электроэнергия потребляется вентиляторами, охлаждающим формующее оборудование и определенные части печи (3% в общем потреблении энергии).

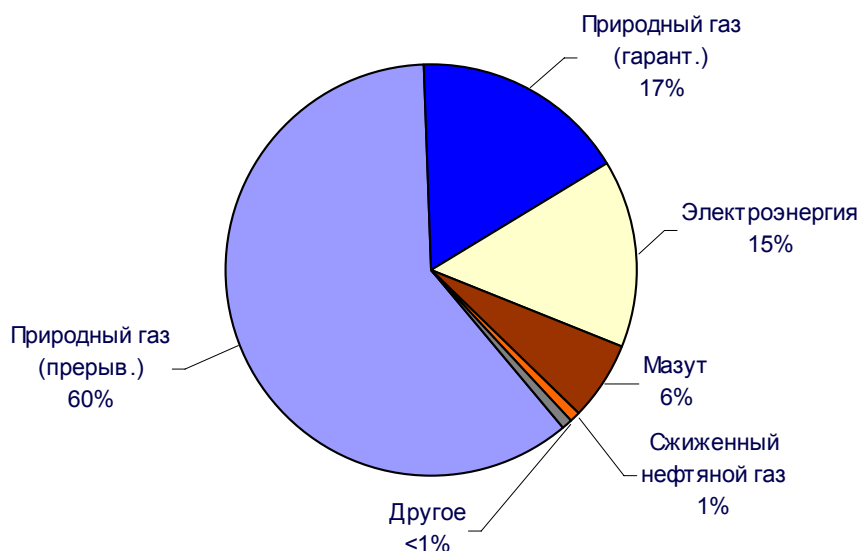


Рис. 1. Энергопотребление в производстве тарного стекла: относительный вклад различных видов топлива в единицах теплоты

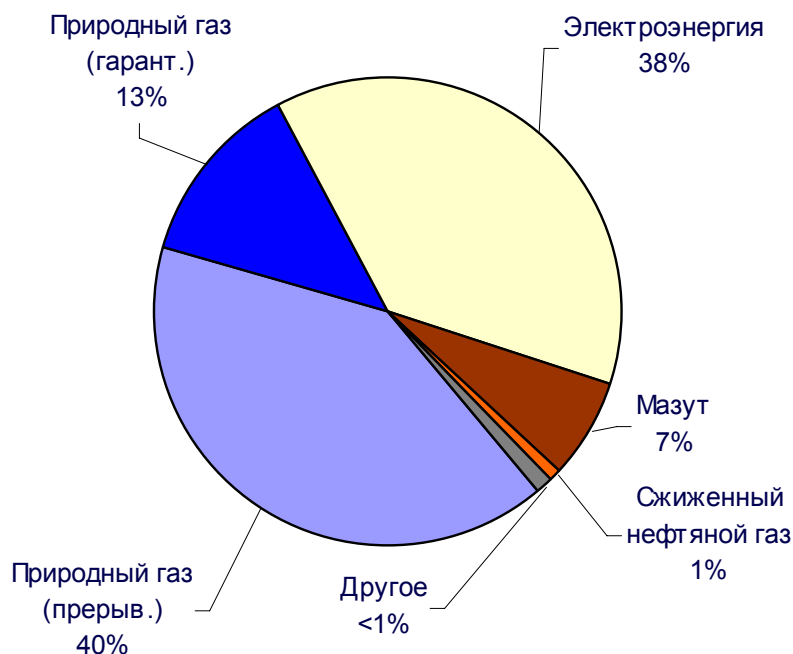


Рис. 2. Энергопотребление в производстве тарного стекла: относительный вклад различных видов топлива в единицах стоимости

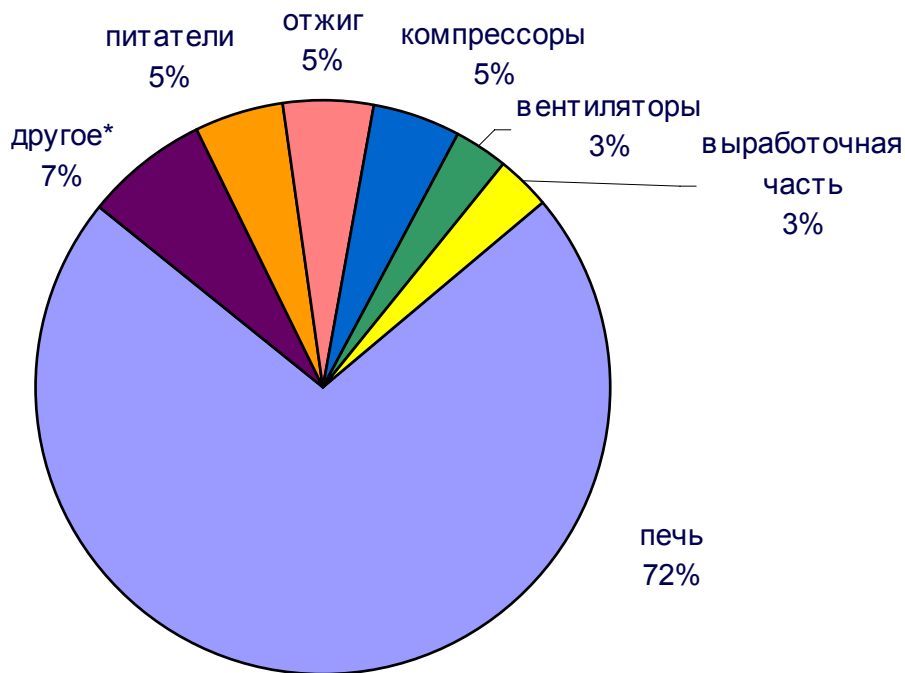


Рис. 3. Основные области энергопотребления

Потребление энергии на стекловарение

Стадия стекловарения ответственна за 72% общего энергопотребления. В 2003 году удельное энергопотребление составило 5,29 ГДж/т стекломассы при средней загрузке 207 тонн в сутки (усредненные данные по 29 проанализированным печам). В 1996 году эти величины составляли 5,36 ГДж/т стекломассы при средней загрузке 204 тонны в сутки.

На рис. 4 показана зависимость удельного энергопотребления на стекловарение от загрузки шихты. Как видно, более крупные печи характеризуются большей энергоэффективностью, хотя эта тенденция проявляется менее четко, чем в исследованиях, проведенных в прошлые годы. Плотное распределение характеристик основных производителей свидетельствует о серьезных шагах по применению лучших подходов энергоэффективности, предпринятых в последнее время.

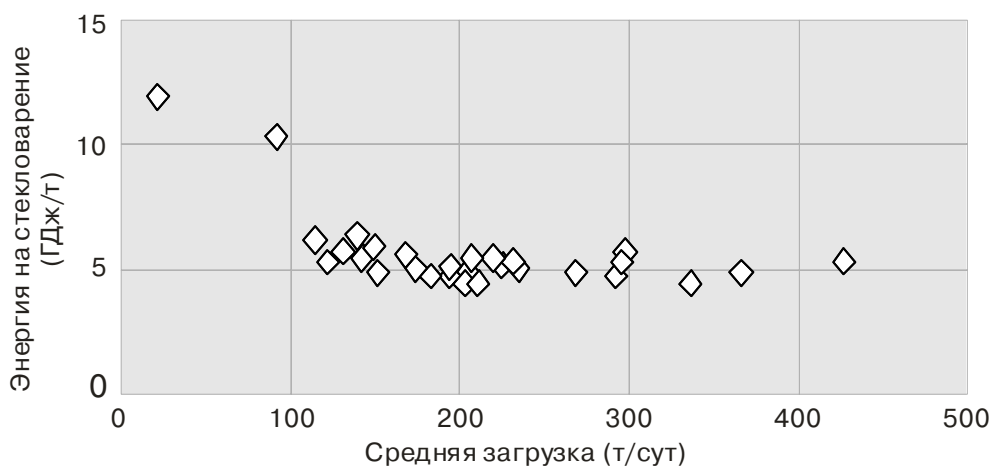


Рис. 4. Зависимость удельного энергопотребления на стекловарение от загрузки сырьевых материалов

Корреляция между энергопотреблением и производительностью печей

Энергопотребление на стекловарение обычно хорошо коррелирует с производительностью печи (по сваренной стекломассе). Рис. 5 отражает зависимость удельного энергопотребления от количества загружаемых сырьевых материалов, скорректированного для учета доли стеклообоя. На графике видна четкая линейная зависимость следующего типа:

$$\text{Энергопотребление печи} = \text{Теплота на поддержание температуры печи} + \text{Константа} \times \text{Загрузка}$$

Тангенс угла наклона прямой на рис. 5 соответствует энергии, необходимой для преобразования 1 тонны сырьевых материалов в стекломассу. Отрезок, отсекаемый графиком на оси ординат, соответствует теплоте, необходимой для поддержания температуры печи. График построен по данным, характеризующим пять печей; средняя величина удельного энергопотребления, необходимого для преобразования шихты в стекломассу, составляет 4,43 ГДж/т.

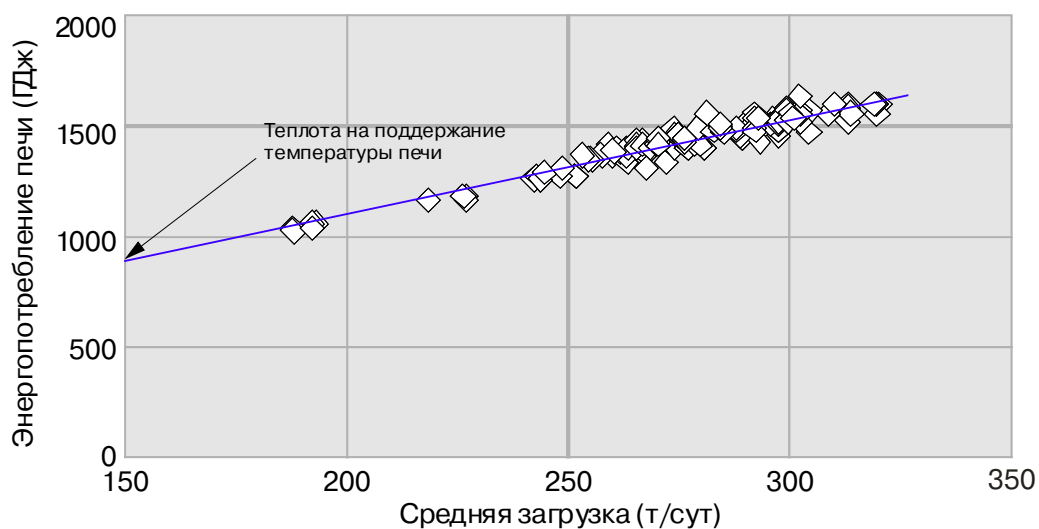


Рис. 5. Средние характеристики потребления энергии на стекловарение

Эффективность стекловаренных печей

Совершенствование энергоэффективности печей в последние 40 лет привело к постепенным, без каких-либо значительных качественных скачков, улучшениям как в оборудовании, так и в теплоизоляционных материалах. Рис. 6 демонстрирует снижение среднего удельного энергопотребления на стекловарение с 11,45 ГДж/т в 1979 г. до 5,29 ГДж/т в 2003 г. Данные за последние годы свидетельствуют о том, что снижение удельного энергопотребления, вероятно, приближается к техническому пределу для существующих печей регенеративного типа, конструкция которых за последние 40 лет не претерпевала каких-либо изменений. Но так как теоретический минимум составляет 2,75 ГДж/т, возможности снизить удельное энергопотребление не должны исключаться полностью.

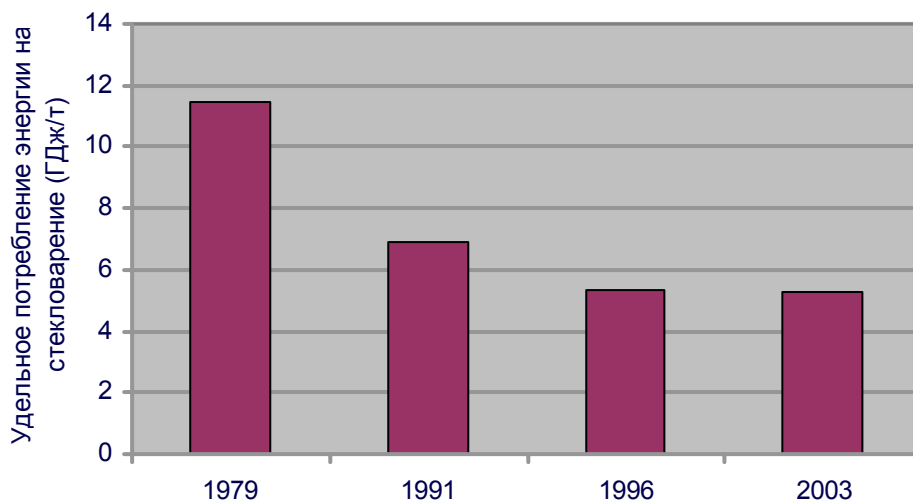


Рис. 6 Совершенствование энергоэффективности стекловаренных печей в 1979-2003 годах

Другие факторы, влияющие на энергоэффективность

Использование стеклобоя

Стеклобой — важный компонент сырьевых материалов в стекловарении. В 2002-2003 годах в производстве тарного стекла переплавлялось около 520 тысяч тонн вторичного стеклобоя (собранного от конечных потребителей). В среднем доля стеклобоя в загружаемых материалах составляла около 37%; включая 2,5% вклада стороннего стеклобоя листового стекла и около 15% собственного стеклобоя. Ниже описаны три фактора, оказывающие наибольшее влияние на порядок использования стеклобоя в производстве тарного стекла.

Законодательство в области отходов упаковки

Директива ЕС по отходам упаковки устанавливает обязательные количественные показатели в отношении утилизации и вторичной переработки различных упаковочных материалов, в том числе, стекла. В соответствии с этой Директивой к разрешенным областям вторичной переработки относятся как использование стеклобоя на стекольных заводах, так и альтернативные направления, например, изготовление специальных добавок к материалам дорожных покрытий. Процесс вторичной переработки регулируется с применением особой системы разрешений. Компании обязаны демонстрировать, что упаковка либо подверглась переработке, либо была экспортирована. Это законодательство стало действенным инструментом увеличения доли перерабатываемых отходов, но, в то же время, способствовало развитию рынка значимых альтернативных направлений использования стеклобоя, таких как изготовление специальных добавок к материалам дорожных покрытий и наполнителей для фильтрования воды. В связи с этим стекольные заводы столкнулись с проблемой недостатка стеклобоя, и количество стекла, вторично переработанного тарной подотраслью, в последние годы менялось мало.

Цвет стекла

Вклад производства изделий из зеленого стекла составляет около 18% в масштабе общего выпуска продукции стекольной Великобритании и при этом дает около 44% вторичной стеклотары, перерабатываемой в стране (рис. 7).

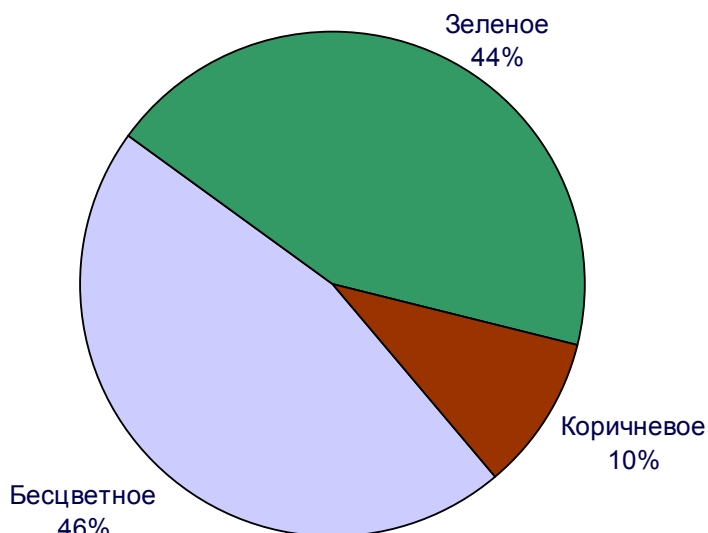


Рис. 7. Цветовой состав собираемой в Великобритании вторичной стеклотары.

Это связано с тем, что большая часть прозрачной стеклотары направляется на экспорт в виде бутылок, заполненных крепкими алкогольными напитками. В то же время, страна импортирует большое количество бутылок зеленого стекла, преимущественно — заполненных вином. Это дисбаланс проявляется в том, что в Великобритании собирается большее количество пустой зеленой стеклотары и меньшее — прозрачной или изготовленной из стекла коричневого (янтарного) цвета. Функционирующие стекловаренные печи в настоящее время еще способны переработать все собираемое зеленое стекло, но при возрастании общего количества вторичной стеклотары это станет невозможным (рис. 8).

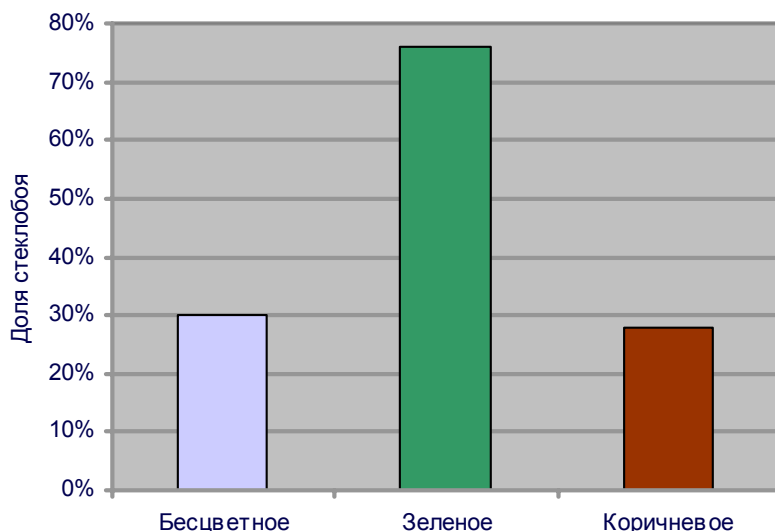


Рис. 8. Использование стеклобоя в производстве стеклотары разных цветов

Загрязненность стеклобоя

В идеале стеклобой должен быть фракционирован в соответствии с цветом и освобожден от примесей (загрязнений). На практике коммерческий стеклобой всегда содержит некоторое количество примесей, в том числе:

- керамические включения
- автомобильное и оконное стекло
- огнеупорное стекло для приготовления пищи
- камни и грязь
- остатки пищи и другие органические включения
- металлические предметы (пробки от бутылок и т.п.)

В промышленных масштабах сбором стеклобоя занимается ограниченное число компаний. Они используют сложные методы освобождения стеклобоя от примесей перед поставкой его стекольным заводам. Основная доля энергии, потребляемой при сборе стеклобоя, расходуется на транспортировку (на предприятие, предварительно подготавливающее стеклобой, и к заводу-потребителю), но стадии сортировки и удаления загрязнений также требуют энергии. Стеклобой, поступающий на стекольное предприятие, должен быть приемлемого качества, которое определяется в соглашении между поставщиком и потребителем. Так как полное удаление примесей невозможно с практической точки зрения, в таких соглашениях оговариваются разрешенные типы и количественные характеристики загрязнения. Однако присутствие примесей в стеклобое может привести к некоторому возрастанию энергопотребления в стекловаренных печах. Наибольшие проблемы увеличения энергопотребления возникают, когда примеси могут привести к возрастанию брака. Например, присутствие керамических примесей в стеклобое приводит к браку из-за появления камня в стекле. Такие проблемы могут наблюдаться на протяжении нескольких дней.

Сокращение энергопотребления в результате использования стеклобоя

Использование стеклобоя позволяет сократить энергопотребление, так как количество теплоты, требующееся для его плавления ниже, чем количество теплоты, затрачиваемое на варку стекла из сырьевых материалов. Оценка сокращения энергопотребления выполнена на основе представительных данных с применением регрессионного анализа. При этом были приняты следующие основные предположения:

Существует линейная зависимость между производительностью печи и энергопотреблением (см. выше):

$$\text{Энергопотребление печи} = \text{Теплота на поддержание температуры печи} + \\ + \text{Константа} \times \text{Загрузка}$$

Введение каждой тонны стеклобоя приводит к фиксированному сокращению потребления энергии печью, а не к снижению энергозатрат на некоторую долю (процент). То есть, сделано предположение, что, вне зависимости от энергоэффективности печи, введение одной тонны стеклобоя может привести одному и тому же сокращению потребления энергии.

На основе этих предположений для каждой печи можно определить следующие характеристики:

- Потребление энергии на поддержание печи в разогретом состоянии (при нулевой производительности/загрузке)
- Удельное потребление энергии, затрачиваемой на преобразование 1 тонны шихты в стекломассу
- Удельное сокращение энергопотребления, на тонну стеклобоя — так называемая константа стеклобоя.

По результатам оценки работы пяти печей составлена табл. 5. Как видно, в результате использования стеклобоя производители стеклотары смогли сократить энергопотребление на 1,21 ГДж на каждую тонну добавленного боя.

Взяв усредненные данные табл. 5, можно оценить потенциал снижения затрат энергии при использовании стеклобоя, приведенный к общему энергопотреблению печи.

Табл. 5. Результаты анализа сокращения энергопотребления в результате использования стеклобоя

Характеристика	Диапазон изменения	Средняя величина
Загрузка печи, т/сут	229-302	264
Доля стеклобоя, %	28-50	41
Удельное энергопотребление, ГДж/т	4.90-5.90	5.29
Удельное потребление энергии, затрачиваемой на преобразование 1 тонны шихты в стекломассу, ГДж/т	3.13-4.82	4.43
Потребление энергии на поддержание температуры печи (при нулевой загрузке), ГДж/сут	216-853	353
«Константа стеклобоя» (сокращение энергопотребления при введении 1 т стеклобоя), МДж/т	727-1534	1213

Введение 41% стеклобоя позволяет сократить затраты энергии на 10,2 %, то есть, каждые 10% дополнительного стеклобоя приводят к 2,5% снижению энергозатрат на стекловарение (см. табл. 6). Отметим, что по данным исследования, выполненного по заказу Правительства Нидерландов, эта величина составляет 2,3%.

Табл. 6. Снижение энергопотребления на варку при использовании стеклобоя

Характеристики	Усредненные значения
Загрузка печи, тонны в сутки	264
Удельное энергопотребление, ГДж/т	5.29
Общее энергопотребление, ГДж/сут	1217
Доля стеклобоя, %	41
Количество стеклобоя, т/сут	108
Удельное сокращение энергопотребления на тонну стеклобоя, МДж/т	1213
Сокращение потребления энергии, ГДж/сут	130
Энергопотребление без введения стеклобоя, ГДж/сут	1267
Сокращение энергопотребления, %	10.2
Сокращение энергопотребления на каждые 10% введенного стеклобоя	2.5

На практике снижение потребления энергии варьирует от одного предприятия к другому в связи с тем, что различия в качестве стеклобоя (прежде всего, по загрязненности) напрямую сказываются на энергопотреблении печи. Лишь небольшое число предприятий контролируют температуру печи в зависимости от изменения соотношения стеклобой : шихта. Это может приводить к тому, что температуры стекловарения оказываются завышенными по сравнению с требуемыми в соответствии с возрастающей долей стеклобоя. Это предположение подтверждается значительным разбросом полученных результатов расчета «константы стеклобоя» (от 727 до 1534 МДж/т).

Дополнительные преимущества использования стороннего стеклобоя

Наряду с сокращением энергопотребления, использование стороннего стеклобоя может привести к ряду дополнительных преимуществ, включая:

- снижение выбросов диоксида углерода — образующихся как при сжигании топлива, так и в результате разложения карбонатов шихты;
- сокращение воздействия на окружающую среду вследствие снижения потребности в сырьевых материалах (природных ресурсах);
- предотвращение размещения стеклобоя на полигонах твердых отходов.

В табл. 7 приведена оценка обсуждаемых преимуществ использования стороннего стеклобоя.

Табл. 7. Преимущества использования стороннего стеклобоя

Характеристики	Оценочные значения, кг на тонну стеклобоя
Сокращение потребления сырьевых материалов	1200
Снижение выбросов CO ₂ , образующегося в результате разложения карбонатов шихты	200
Снижение выбросов CO ₂ , образующегося в результате сжигания топлива	62
Сокращение количества стеклобоя, поступающего на полигоны твердых отходов	1000

Облегченная стеклотара

Производители стеклотары давно осознали необходимость в снижении массы выпускаемых изделий для того, чтобы противостоять методам, которые применяют производители других видов тары для входа на их традиционные рынки. С середины 80-х годов последовательно развивалась так называемая «технология облегченной тары». Преимущества этой технологии могут быть сформулированы следующим образом:

- значительное возрастание быстродействия стеклоформирующего оборудования;
- сокращение удельного энергопотребления (на изготовленную бутылку);
- снижение удельного потребления сырьевых материалов (на изготовленную бутылку);
- сокращение транспортных расходов (на изготовленную бутылку);

В табл. 8 сведены данные по снижению массы емкостей основных производимых типов в 1992-2003 годах. Среднее (взвешенное по числу емкостей) сокращение составило приблизительно 8,1%.

Характеристики энергоэффективности обычно приводятся в размерности затрат энергии на единицу массы годной продукции. Метод прост и очевиден, но не отражает преимуществ изготовления облегченной стеклотары. При этом небольшое дополнительное количество энергии, затрачиваемой на выработку дополнительного количества изделий, рассматривается в качестве негативного фактора. Увеличение затрат энергии на выработку относительно невелико и включает:

- дополнительный расход энергии на охлаждение для компенсации увеличения скорости формовочных машин;
- дополнительный расход энергии на производство сжатого воздуха, потребляемого формирующим оборудованием.

Однако облегченная стеклотара более сложна в изготовлении, что может привести к некоторому сокращению выхода годной продукции. Конкретные значения для разных видов продукции представляют коммерческую тайну и потому дать точную характеристику преиму-

шеств производства облегченной тары с точки зрения снижения удельного потребления энергии не представляется возможным.

С учетом небольшого увеличения энергии, затрачиваемой на выработку, и на основе оценки сокращения выхода годных изделий как 1,5%, «облегчение» бутылки на 8,1 % приводит к 6,5 % сокращению удельного энергопотребления в пересчете на единицу (штуку) годной продукции.

Табл. 8. Сокращение массы типичной потребительской стеклотары

	Масса стеклотары для напитков и продуктов, г						
	Виски	Пиво	Молоко	Джем	Соусы	Кофе	Средняя
1992	500	243	262	192	258	295	292
1994	484	238	257	195	274	305	292
1996	461	254	253	192	255	285	283
1998	453	239	249	189	227	270	271
2000	440	216	248	187	225	271	265
2002	448	221	246	190	218	314	273
Доля (для определения средней массы)	23%	53%	4%	6%	7%	7%	
Сокращение массы стеклоизделий, %	10.4	9.1	6.1	1.0	15.5	- 6.4	5.9

Возможности совершенствования энергоэффективности

Улучшение теплоизоляции печи

Совершенствование теплоизоляционных материалов отрывает возможности безопасного усиления тепловой изоляции наружных стен стекловаренной печи и регенераторов. Нанесение путем распыления 50 мм слоя теплоизоляционного материала на внешнюю поверхность регенераторов обеспечило сокращение энергопотребления на 18000 ГДж в год, обеспечив окупаемость в течение 26 недель.

Сжатый воздух

Стеклотарные заводы потребляют большие количества сжатого воздуха, а его производство — дорогостоящий процесс. Усиление внимания к порядку использования сжатого воздуха открывает прекрасные возможности для снижения энергопотребления малозатратными мерами. Простой планово-предупредительный ремонт (например, обнаружение и ликвидация неплотностей) позволяет производителям стекла более эффективно использовать сжатый воздух. Более жесткие требования к охлаждению форм, обусловленные повышенным быстрым действием формовочного оборудования, могут быть удовлетворены путем применения простого решения — увеличения давления охлаждающего воздуха.

Совершенствование системы охлаждения (путем применения компьютерного моделирования) может привести к обеспечению необходимого уровня охлаждения при снижении энергопотребления. Сжатый воздух в больших количествах используется для того, чтобы привести в действие движущиеся части формовочных машин. Замена сжатого воздуха электрическими приводами также открывает возможности для снижения энергопотребления.

Улучшение контроля работы печи

Графики зависимости энергопотребления от производительности печи всегда характеризуются значительным разбросом данных. То есть, печи одной и той же производительности при близких условиях стекловарения потребляют разное количество энергии. Улучшение контроля работы печи и разработка четких процедур управления могут привести к снижению реального энергопотребления до технологически обусловленного минимума.

Улучшение контроля процесса сжигания топлива

Удельная теплотворная способности природного газа в Великобритании изменяется в пределах от 37 до 42 МДж/нм³. Лишь небольшое число предприятий отслеживает колебания теплотворной способности; остальные мирятся с тем, что в ряде случаев работают при некорректных соотношениях потоков воздуха и природного газа. Разработанные в последнее время и доступные по цене датчики вполне могут быть включены в систему автоматического управления стекловаренной печи.

Предварительный подогрев стеклобоя

Ожидаемый рост доступности стороннего (вторичного) стеклобоя обуславливает усиление внимания к возможности применения метода подогрева стеклобоя перед загрузкой в печь. Наиболее привлекательными представляются системы, позволяющие одновременно подогреть стеклобой (за счет теплоты отходящих дымовых газов) и очистить отходящие газы от пыли. При высоких значениях соотношения стеклобой : шихта подобные системы позволяют достичь 20% снижения энергопотребления.

Уплотнение (герметизация) горелок

Традиционное расположение горелок природного газа или жидкого топлива обычно приводит к подосу холодного воздуха в печь. Простое уплотнительное кольцо может исключить подсос, что скажется на повышении эффективности печи и откроет дополнительные возможности сокращения выбросов NO_x. Первые результаты, полученные при апробации такого подхода, оказались весьма обнадеживающими.

Рекуперация тепла

Тепло, отходящее от печи, может быть использовано для предварительного подогрева шихты или для производства электроэнергии. Результаты исследований в стекольной отрасли свидетельствуют о том, что на крупных стеклозаводах могут быть сооружены газовые турбины для производства электроэнергии путем утилизации тепла отходящих газов. Например, сооружение теплоэлектростанции электрической мощностью 6 МВт при капитальных затратах в 3,5 миллиона фунтов стерлингов позволяет снизить затраты на энергию на сумму порядка 1 миллиона фунтов стерлингов в год. Однако такое решение может быть оправданным экономически, только если новое стеклотарный завод сооружается вблизи потенциального потребителя тепла (например, предприятия, осуществляющего упаковку пищевой продукции или разлив напитков в стеклотару).