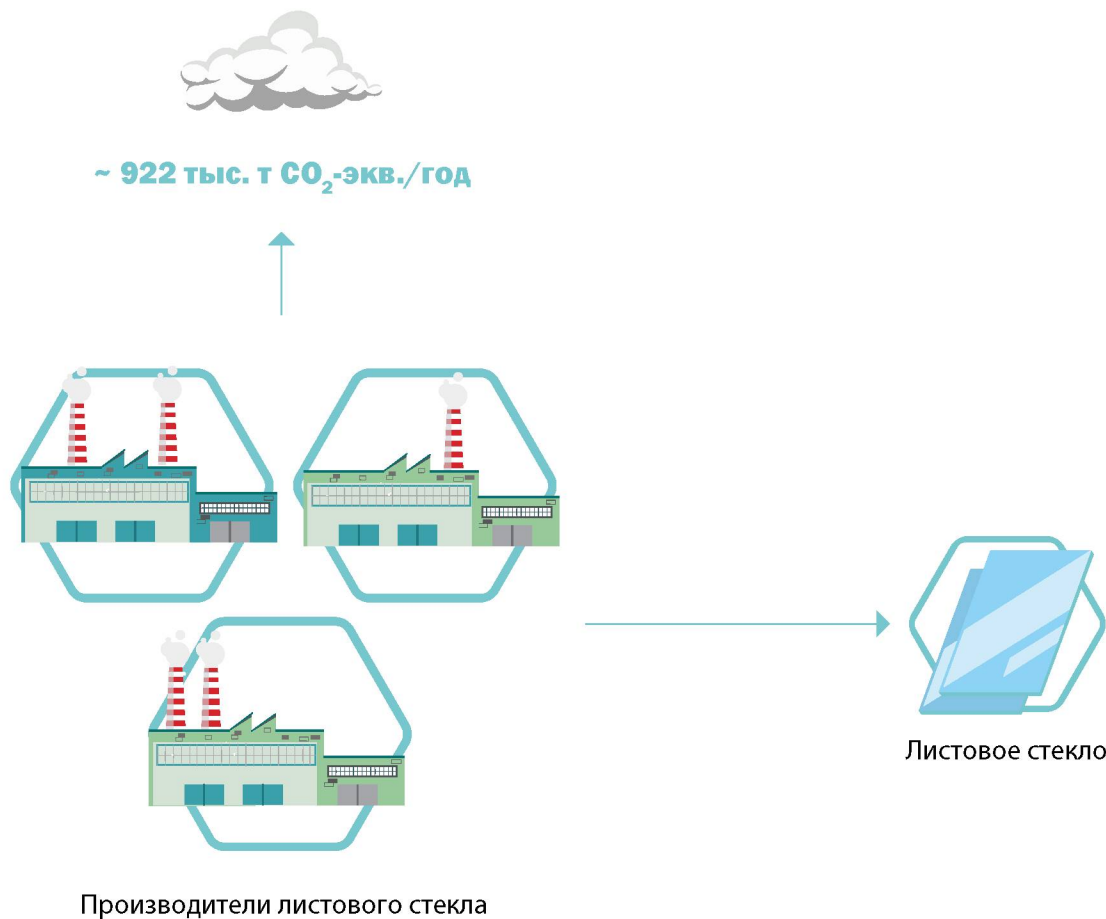


Наш мир был бы совершенно иным без стекла и новых технологий, позволяющих взглянуть на его применение под другим углом. Говорят, что мы живем в «стеклянном веке».

Возможности стекла значительно расширяются путем придания ему различной тепло- и светопрозрачности, применения различных методов его окраски и декорирования. В последнее время в массе выпускаемого материала значительно возрастает доля функционального стекла. Связано это с тем, что обычное стекло не отвечает современным требованиям к теплосбережению, механической прочности и т.д.

При общей тенденции к увеличению площади остекления фасадов современных зданий и сооружений вопросы энергоэффективности становятся ключевыми, и применение энергосберегающих низкоэмиссионных и солнцезащитных стекол, обеспечивающих значительное снижение теплопотерь и расходов на отопление и кондиционирование помещений, становится особенно актуальным. Современные технологии производства архитектурного стекла, применяемые в настоящее время, позволяют строить полностью стеклянные оболочки и не бояться промерзания и образования конденсата в холодное время года и тепличной духоты летом — сегодня стекло может эффективно решать эти задачи.

ПРОИЗВОДСТВО



В Российской Федерации функционируют 11 заводов, выпускающих листовое стекло. Это предприятия ведущих международных компаний.

Одной из самых важных инноваций в стекольной промышленности стала разработка процесса производства флоат-стекла, основной принцип которого заключается в формовании расплавленной стекломассы на поверхности расплавленного олова под действием сил поверхностного натяжения.

В макроэкономическом аспекте производство стекла с низкоэмиссионным покрытием играет важную роль в снижении выбросов CO₂. Расчеты для ведущих мировых производителей стекла показывают, что сокращение выбросов при использовании низкоэмиссионных стекол в энергосберегающем остеклении жилых и общественных зданий многократно перекрывает углеродный след продукции (выбросы парниковых газов при производстве и транспортировке стекла).

ГОРОД



УДК 666.1

ЛИСТОВОЕ СТЕКЛО: ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ И В ПРОЦЕССЕ ПРИМЕНЕНИЯ



С. В. Секин

исполнительный директор
Союза Стекольных
Предприятий

Наш мир был бы совершенно иным без стекла и новых технологий, позволяющих взглянуть на его применение под другим углом. Говорят, что мы живем в «стеклянном веке». Благодаря ведущим в отрасли исследованиям и разработкам мир стекла — это более вдохновляющий и устойчивый мир.

На протяжении веков методы изготовления стекла сильно менялись. Раньше стеклом занимались талантливые ремесленники, а сейчас оно в больших объемах производится на современных промышленных предприятиях [1]. Листовое стекло — это один из важнейших видов строительных материалов, с помощью которого создается различная освещенность помещений, регулируется поступление и снижаются потери тепла. Архитекторы все чаще стремятся привнести естественные факторы окружающей среды во внутреннюю часть здания за счет максимального естественного освещения. Это достигается при использовании больших площадей остекления фасадов и крыш, а также через полностью застекленные фасады, где стекло является структурным компонентом здания. При этом стекло — прекрасный декоративный материал, обеспечивающий возможность разнообразного оформления зданий и украшения их интерьера.

Возможности стекла значительно расширяются путем придания ему различной тепло- и светопрозрачности, применения различных методов его окраски и декорирования. В последнее время в массе выпускаемого материала значительно

О. В. Кондратенко

менеджер по экологии
и устойчивому развитию
ООО «Гардиан Стекло Сервисис»

возрастает доля функционального (с особыми свойствами) стекла. Связано это с тем, что обычное стекло не отвечает современным требованиям к теплосбережению, механической прочности, спектральному диапазону пропускаемого излучения и т. д.

При общей тенденции к увеличению площади остекления фасадов современных зданий и сооружений вопросы энергоэффективности становятся ключевыми, и применение энергосберегающих низкоэмиссионных и солнцезащитных стекол, обеспечивающих значительное снижение теплопотерь и расходов на отопление и кондиционирование помещений, становится особенно актуальным. Характеристики энергоэффективности светопрозрачных конструкций выросли в несколько раз по сравнению с теми решениями, которые применялись 15–20 лет назад. Современные технологии производства архитектурного стекла, применяемые в настоящее время, позволяют строить полностью стеклянные оболочки и не бояться промерзания и появления конденсата в холодное время года, а также тепличной духоты летом — сегодня стекло может эффективно решать эти задачи.

В Российской Федерации функционируют 11 заводов, выпускающих листовое стекло; это предприятия ведущих международных компаний (AGC Group, NSG, Guardian Industries, Sisecam) и известных российских производителей (АО «Салаватстекло», АО «Саратовстройстекло» и ООО «Салаватстекло Каспий»).

Основные сырьевые материалы в производстве стекла — это [2, 3]:

- ▶ кварцевый песок — источник оксида кремния (SiO_2), основного компонента в составе стекла;
- ▶ кальцинированная сода (карбонат натрия Na_2CO_3), сода снижает температуру варки;
- ▶ поташ (карбонат калия K_2CO_3), используется для введения оксида калия (K_2O), увеличивающего «длину» (вязкостную характеристику при формировании) стекла;
- ▶ мел, известняк, мрамор (карбонаты кальция CaCO_3) — источники оксида кальция (CaO);
- ▶ доломит (двойной карбонат кальция и магния $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) — введением оксидов кальция (CaO) и магния (MgO) можно регулировать температуру плавления и вязкость; они улучшают механические и химические свойства;
- ▶ глинозем (оксид алюминия Al_2O_3) добавляют, чтобы улучшить стойкость к химическому воздействию.

Для облегчения процесса варки стекла часть шихты, необходимой для получения 100 массовых частей стекломассы, заменяют стекольным боем (далее — стеклобой). Соотношение шихты и стеклобоя устанавливается предприятием и зависит от конструктивных особенностей и продолжительности кампании печи, требований к качеству стекломассы, экономических показателей производства. При производстве листового стекла соотношение шихта : бой варьирует обычно в пределах (90–75):(10–25) [2, 3].

Наиболее распространенным и экономичным способом подачи тепла для варки стекла является сжигание газового топлива над слоем шихты и расплавленной стекломассой. Температура, необходимая для стекловарения, зависит от химического состава стекла и составляет от 1100 до 1650 °С. При таких температурах теплопередача осуществляется путем излучения

от свода печи, который нагревается пламенем до 1650 °С, и от самого пламени. Природный газ — основное топливо, используемое в российской стекольной промышленности, главным образом из-за его экономичности и экологичности. Стекловаренные печи снабжены системами подачи газа и отвода продуктов горения. Для подачи газа и воздуха на горение применяют регенераторы [3].

Регенератор — это камера, внутри которой находится насадка из огнеупорного кирпича с системой отверстий. При прохождении через насадку отработанных дымовых газов сверху вниз кирпичи нагреваются и затем отдают тепло пропускаемому снизу вверх воздуху, нагревая его до 1200–1350 °С. Система управления переключает газовые потоки в парах горелок таким образом, чтобы одна работала на горение топлива, а вторая на нагрев насадки. Через фиксированный промежуток времени происходит переключение газовых потоков, и тогда вторая горелка сжигает топливо, а насадка регенератора первой нагревается отходящими газами. Отвод отработанных дымовых газов из регенераторов происходит по системе дымоходов, расположенной под стекловаренной печью, соединенной с общей дымовой трубой [3].

Одной из самых важных инноваций в стекольной промышленности стала разработка процесса производства флоат-стекла, сегодня это наиболее распространенный процесс производства листового стекла, основной принцип которого заключается в формировании расплавленной стекломассы на поверхности расплавленного олова под действием сил поверхностного натяжения [4].

Флоат-ванна (ванна расплава) состоит из металлического корпуса, установленного на металлических

конструкциях и наполненного расплавом олова. Корпус флоат-ванны герметичен, в нем поддерживается защитная атмосфера путем наполнения смесью азота и водорода.

Расплавленная стекломасса вытекает из печи вдоль канала с огнеупорной футеровкой. В конце канала стекломасса выливается в ванну расплава через специальный огнеупорный переливной брус, который обеспечивает правильное растекание стекломассы. Поток стекломассы управляется посредством регулируемого подвесного огнеупорного шибера в канале (передний шибер). В месте, где стекломасса первоначально соприкасается с оловом, температура олова составляет приблизительно 1000 °С; на выходе из ванны расплава температура снижается примерно до 600 °С. По мере того, как стекломасса проходит по поверхности расплавленного олова, она приобретает практически идеальную ровную поверхность. Олово не вступает в реакцию со стеклом и подходит для процесса его производства благодаря своей плотности и температуре плавления [2, 3].

В флоат-ванне расположены несколько пар стеклоформирующих машин с водяным охлаждением, с применением которых осуществляется регулирование толщины ленты стекла.

После выхода из флоат-ванны лента стекла подается в печь отжига, разделенную на секции, где осуществляется косвенное или прямое охлаждение с помощью принудительной и естественной конвекции. По мере перемещения стекла по леру для отжига его температура постепенно снижается до температуры в цеху, что позволяет резать материал на листы и отправлять его на хранение. Стекло таким образом постепенно охлаждается с 600 до 60 °С для уменьшения остаточного напряжения до допустимого уровня.

В некоторых случаях устанавливают моечные машины на непрерывной ленте стекла.

Охлажденная лента стекла разрезается перемещающимися роликами на заданные форматы. Края ленты, на которых находятся отпечатки зубцов роликов, отрезаются и повторно используются в производстве в качестве стеклобоя. Затем листы стекла передаются на склад для хранения и последующей реализации либо для дальнейшей переработки [2, 3].

Энергоэффективность стекловаренной печи в процессе ее эксплуатации постепенно снижается в связи с выработкой ее ресурса. Кампания эксплуатации печи в среднем составляет 15 лет. При завершении кампании проводится ее холодный (капитальный) ремонт, при котором выполняют следующие работы: полностью или частично заменяют секции главного свода и подвесные динасовые стены; заменяют верхний ряд брусьев бассейна по всему периметру, кроме выработочной части, а также второй ряд брусьев в зоне варки и студки (при необходимости); заменяют влеты и своды 3–4 пар горелок; полностью или частично заменяют дно варочного бассейна; заменяют насадки и ремонтируют стены и своды регенераторов; ремонтируют газовые и воздушные каналы и дымоходы; полностью или частично заменяют мостовое строение машинного канала; ремонтируют обвязку печи, переводные устройства, загрузчики шихты и боя, вентиляторы и все вспомогательное оборудование. По сути, устанавливается новая печь, и у производителя есть возможность заложить новые, более энергоэффективные решения [2].

Основные технологические решения, направленные на повышение энергоэффективности производства, — это снижение энергопотребления как в основных, так и во вспомогательных процессах

и использование вторичных ресурсов (стеклобоя) в составе исходного сырья.

Прежде всего практики уделяют внимание оптимизации энергопотребления непосредственно на производственной площадке. Модернизация стекловаренных печей позволяет достичь значительного снижения теплопотерь и повышения энергоэффективности процессов стекловарения: 70–75% энергопотребления приходится на долю процессов стекловарения, соответственно, максимально эффективного снижения потребления топлива можно добиться именно на этом участке. Теплоизоляция печей позволяет не только повысить энергоэффективность процессов стекловарения, но и снизить углеродоемкость продукции [5].

Еще один пример простых технологических решений — уплотнение (герметизация) горелок. Традиционное расположение горелок природного газа или жидкого топлива обычно приводит к подсосу холодного воздуха в печь. Простое уплотнительное кольцо может исключить подсос холодного воздуха, а также открывает дополнительные возможности по снижению выбросов оксидов азота.

Следует также отметить перспективность использования систем автоматического контроля технологических процессов и рекуперации тепла. Использование тепла отходящих газов стекловаренной печи для предварительного разогрева шихты и стеклобоя или обогрева производственных зданий позволяет сократить энергопотребление предприятия.

Одним из самых распространенных способов повышения энергоэффективности предприятия на всем протяжении кампании является использование стеклобоя в шихте, однако существуют ограничения, связанные с качеством продукции. По мнению российских

экспертов, доля стороннего стеклобоя не может превышать 37%. При этом снижение углеродоемкости продукции происходит сразу по двум направлениям:

- ▶ снижение выбросов парниковых газов за счет уменьшения доли карбонатов в исходном сырье;
- ▶ снижение выбросов диоксида углерода за счет снижения энергопотребления при плавлении шихты.

Особое внимание сокращению углеродоемкости, снижению энергопотребления и повышению доли стеклобоя в шихте специалисты стали уделять в связи с развитием углеродного регулирования, которое с 2021 г. применяется и в России. Предприятия, процессы производства продукции на которых сопровождаются значительными выбросами диоксида углерода и других парниковых газов, должны отчитываться об этих выбросах (на первом этапе, если они превышают 150 тыс. т CO₂-экв. в год) [6]. Ожидается также, что получат распространение и экономические инструменты (углеродный налог и (или) торговля квотами на выброс парниковых газов). В Европейском союзе установление квот основано на результатах отраслевого бенчмаркинга — сопоставительного анализа с эталонными показателями для определения возможностей повышения эффективности (в данном случае — возможностей сокращения выбросов парниковых газов) [7].

Бенчмаркинг по уровню энергоэффективности и углеродоемкости широко используется для [8]:

- ▶ определения потенциала экономии энергии и снижения выбросов парниковых газов;
- ▶ определения и мониторинга достижения целевых заданий (пороговых значений) по экономии энергии и снижению выбросов парниковых газов в системах регулирования;
- ▶ выявления лучших технологий и практик и формирования пакетов мер политики для расширения их рыночных ниш;

- ▶ разработки и согласования отраслевых планов и дорожных карт по повышению энергоэффективности и декарбонизации;
- ▶ выделения бесплатных квот в системах торговли квотами;
- ▶ определения уровня платежей в системах пограничного углеродного регулирования (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM);
- ▶ маркетинга продукции с низким углеродным следом (необходимо обеспечение сопоставимости определения удельных выбросов для обеспечения справедливой конкуренции);
- ▶ выбора поставщиков с низким углеродным следом для государственных и корпоративных закупок при стремлении снизить углеродный след потребителей продукции;
- ▶ определения критериев «зелености» в таксономиях при принятии решений о финансировании проектов.

Новые (жесткие) бенчмарки углеродоемкости (фактически — целевые показатели) были установлены в Европейском союзе в марте 2021 г.; в июле того же года была опубликована информация о пограничном углеродном регулировании [9]. В документе указано, что 10% лучших (наиболее эффективных) установок достигали в среднем углеродоемкости 0,421 т CO₂-экв./т стекла, в то время как бенчмарк на период 2021–2025 гг. установлен на уровне 0,399 т CO₂-экв./т стекла. При этом в 2018 г. бенчмарк был установлен на уровне 0,453 т CO₂-экв./т стекла [10].

Сегодня показатели удельной углеродоемкости листового стекла, выпущенного предприятиями, расположенными в Российской Федерации, варьируют в интервале 0,470–0,499 т CO₂-экв./т стекла. Задача снижения углеродоемкости стекла до уровней, близких к бенчмарку Европейского союза, представляет значительную сложность

для предприятий-экспортеров; очевидно, эта задача не может быть решена в ходе стекловаренной кампании.

На протяжении кампании поддержание энергоэффективности на высоком уровне осуществляется методами энергоменеджмента [11, 12]. Так, мероприятия по энергоэффективности могут включать следующие позиции:

- ▶ повышение содержания плавней в шихте (стеклобой, сода);
- ▶ обеспечение стабильной температуры и влажности шихты;
- ▶ оптимизация температурного режима стекловаренной печи;
- ▶ использование автоматической системы управления газом (Expert System), которая позволяет более точно и своевременно регулировать расход газа в зависимости изменения температуры;
- ▶ анализ индекса Wobbe, калорийности и плотности газа для лучшей стабильности;
- ▶ анализ состава отходящих газов (соотношение CO:O₂) для регулировки горения и перераспределения подачи газа по портам;
- ▶ обновление термоизоляции бассейна печи;
- ▶ настройка давления в варочной части печи и соотношение газ/воздух на горение в зависимости от времени года;
- ▶ своевременная герметизация стекловаренной печи (устранение прогаров и др.);
- ▶ обслуживание (прожиг) насадок камер регенераторов.

Дальнейшее повышение энергоэффективности, равно как и сокращение выбросов парниковых газов, могут быть достигнуты за счет увеличения доли стеклобоя в шихте. Однако существует два ограничения:

- ▶ связанное с качеством продукции: как уже отмечено, по мнению производителей листового стекла, доля стороннего стеклобоя не может превышать 37%; дальнейшее увеличение доли стеклобоя

влечет риск выпуска некачественной продукции и снижение эффективности деятельности предприятия;

- ▶ при производстве листового стекла используется собственный стеклобой и стеклобой, образовавшийся при промышленной переработке листового стекла (нарезка стекла в размер при изготовлении изделий из листового стекла); в настоящее время на российском рынке вторичного сырья наблюдается дефицит стеклобоя, пригодного ко вторичной переработке, обусловленный тем, что крупные переработчики имеют возможность накопить товарную партию и отправить его на переработку, а средние и мелкие переработчики такой возможности не имеют и предпочитают отправить стеклобой на захоронение.

Одним из решений по стимулированию вовлечения стеклобоя в производство может стать внесение изменений в Распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 №1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается» [13] с целью введения поэтапного запрета на захоронение отходов стекла с учетом региональных и муниципальных особенностей наличия и перспективы введения в эксплуатацию производственно-технических комплексов по утилизации отходов. Индивидуальный подход к каждому региону обусловлен различиями в развитии утилизации отходов между субъектами. Соответственно, чтобы получить фактические результаты, исходя из реалий, необходимо оценивать технические возможности и дальнейшие перспективы каждого субъекта и, возможно, муниципалитета в отдельности.

Возможности дальнейшего снижения выбросов парниковых газов уже лежат в сфере строительства и реконструкции зданий. Применение энергоэффективного (низкоэмиссионного и солнцезащитного)

стекла позволяет значительно снизить теплопотери зданий и оптимизировать систему кондиционирования помещений. По экспертным оценкам, снижение потребления тепла в жилом секторе за счет применения низкоэмиссионного стекла может составлять до 15%. С учетом того, что в городах до 70% выбросов парниковых газов приходится на долю зданий [14], принцип отказа от приобретения стекла в пользу выбора совместно с производителем проекта остекления здания в целом получает все более широкое распространение.

Для сравнения: стандартный однокамерный стеклопакет с обычным флоат-стеклом имеет коэффициент теплопередачи $U_g = 2,7$; с низкоэмиссионным стеклом $U_g = 1,1$; а с мультифункциональным стеклом $U_g = 1,0$. При увеличении количества камер в стеклопакете, например до двухкамерного, что сегодня очень распространено, с применением различных комбинаций стекла можно достичь показателя $U_g = 0,5$ (коэффициент теплопередачи U_g Вт/(м²·с) характеризует способность конструкции передавать тепло. Чем меньше коэффициент, тем лучше теплоизоляционная функция светопрозрачной конструкции).

В ноябре 2021 г. была официально опубликована «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [15]. В этом документе отмечено, что в жилищно-коммунальном хозяйстве и жилищном строительстве следует обеспечить повышение эффективности систем теплоснабжения, теплохолодоснабжения и внедрение высоких стандартов энергоэффективности новых зданий (классы А, А+). Присвоение классов энергоэффективности на этапе строительства, в том числе с учетом использования энергоэффективного остекления, рассматривается в числе действенных инструментов достижения поставленной цели. Следовательно, выполнение требований к энергоэффективности

должно быть обеспечено на этапах проектирования и строительства с применением расчетных и инструментальных методов.

В 2021 г. был введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 10077-1-2021 «Характеристики теплотехнические оконных блоков, дверных блоков и жалюзи. Расчет коэффициента теплопередачи. Часть 1. Общие положения» [16]. Этот стандарт разработан по инициативе Союза стекольных предприятий для унификации расчета коэффициента теплопередачи и повышения уровня технического регулирования тепловой защиты зданий, строений и сооружений, в том числе в части учета норм энергетической эффективности, устанавливаемых для светопрозрачных конструкций многоквартирных домов, общественных зданий и сооружений. Совместно с инструментальными замерами стандарт станет хорошим расчетным инструментом контроля за проектированными характеристиками остекления для всех участников процесса строительства.

На протяжении всего жизненного цикла здания высокая энергоэффективность поддерживается путем применения широкого спектра инструментов. «Зеленое» строительство и эксплуатация зданий, обеспечивающие снижение негативного воздействия на окружающую среду и ограничение выбросов парниковых газов, получают все большее распространение в России [16–19].

В макроэкономическом аспекте производство стекла с низкоэмиссионным покрытием играет важную роль в снижении выбросов CO₂. Расчеты для ведущих мировых производителей стекла показывают, что сокращение выбросов при использовании низкоэмиссионных стекол в энергосберегающем остеклении жилых и общественных зданий многократно

перекрывает углеродный след продукции (выбросы парниковых газов при производстве и транспортировке стекла). Это соотношение может достигать 11:1 (на каждую тонну CO₂, выбрасываемого в результате деятельности компании, удастся предотвратить до 11 т выбросов CO₂ благодаря использованию выпускаемой продукции) [19].

Распространение «зеленых» проектов, безусловно, потребует дополнительной инфраструктуры и значительных инвестиций. Будучи вторым по величине потребителем энергии в России (после промышленности), жилищный сектор обладает огромным потенциалом экономии энергии и сокращения выбросов парниковых газов при условии проведения его энергоэффективной модернизации. Применение энергосберегающих низкоэмиссионных стекол, обеспечивающих значительное снижение теплопотерь, а соответственно и расходов на отопление и кондиционирование помещений, становится при этом особенно актуальным.

При строительстве и эксплуатации зданий светопрозрачным конструкциям должна отводиться одна из ведущих ролей, поскольку современный уровень их теплозащиты и энергоэффективности не уступает, а по некоторым параметрам и превосходит ограждающие конструкции зданий. Энергоэффективные окна должны стать общепринятым, законодательно закрепленным стандартом в остеклении в ближайшее время.

По данным Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства, к 2020 г. насчитывалось 652 дома с энергоэффективными технологиями в 66 регионах России, что крайне мало в масштабах страны [20]. Строительство энергоэффективных домов и модернизация

существующего жилого фонда с применением энергоэффективных технологий должны стать приоритетной задачей, поскольку экономический и экологический эффект от эксплуатации энергоэффективных объектов позволяет быстро окупить дополнительные затраты и получить заметную экономию в потреблении коммунальных ресурсов и более комфортные условия проживания. Реновация жилищного фонда будет способствовать снижению выбросов парниковых газов, образующихся при генерации тепла и энергии для кондиционирования. По экспертным оценкам снижение потребления тепла в жилом секторе за счет применения энергоэффективного стекла может составлять до 15%, таким образом снижается общий объем необходимого тепла и значительно уменьшается необходимость его генерации. В совокупности для страны снижение энергопотребления и потребления ископаемого топлива приведет к общему

снижению выбросов парниковых газов и улучшению общих показателей снижения выбросов.

С учетом потенциала применения энергоэффективного остекления целесообразно на государственном уровне закрепить требования и рекомендации по его использованию в строительстве, реконструкции и капитальном ремонте жилых и производственных помещений, внедрить их в различные стандарты и иные методические документы, например в стандарты «зеленого» строительства, а также использовать такие материалы при осуществлении строительства с государственным участием. Целесообразным может стать также изменение структуры учета выбросов парниковых газов на национальных уровнях, выделение сектора «Жилищно-коммунальное хозяйство» или «Здания» в секторе «Энергетика» Национального кадастра выбросов парниковых газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт Союза стекольных предприятий [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://glassunion.ru/>
2. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass. European Commission. Joint Research Centre. Institute for prospective technological studies, 2013* [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/GLS_Adopted_03_2012_0.pdf
3. ИТС 5-2015. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство стекла».
4. Саркисов П.Д., Орлова Л.А. Стекло неорганическое // *Химическая энциклопедия*. — Т. 4. — М.: Большая российская энциклопедия, 1995. — С. 835–840.
5. Гусева Т.В., Тихонова И.О., Цевелев В.Н., Щелчков К.А., Аверочкин Е.М. Направления оптимизации технологического нормирования производства тарного стекла: наилучшие доступные технологии, нормы общего действия и углеродоемкость продукции // *Стекло и керамика*. — 2021. — №10. — С. 18–23.
6. Федеральный закон от 02.07.2021 №296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://rg.ru/2021/07/07/fz-ob-ograni4enii-vybrosov-parnikovyyh-gazov-dok.html>

7. *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447 of 12 March 2021 determining revised benchmark values for free allocation of emission allowances for the period from 2021 to 2025 pursuant to Article 10a(2) of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council.* URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/447
8. Башмаков И.А., Скобелев Д.О., Борисов К.Б., Гусева Т.В. Системы бенчмаркинга по удельным выбросам парниковых газов в черной металлургии // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2021. — Т. 77. — №9. — С. 1071–1086.
9. *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism.* Brussels, 14.7.2021. COM(2021) 564 final 2021/0214 (COD). URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-EU-Green-Deal-carbon-border-adjustment-mechanism-en>
10. *Commission Delegated Regulation (EU) 2019/331 of 19 December 2018 Determining Transitional Union-wide Rules for Harmonised Free Allocation of Emission Allowances Pursuant to Article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council.* URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/331/oj
11. Guseva T., Shchelchikov K., Sanzharovskiy A., Molchanova Ya. *Best Available Techniques, Energy Efficiency Enhancement and Carbon Emissions Reduction // Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019.* — 2019. — Vol. 19. — Is. 5.1. — Pp. 63–70.
12. Скобелев Д.О., Степанова М.В. *Энергетический менеджмент: прочтение 2020. Руководство по управлению энергопотреблением для промышленных предприятий.* — М.: Изд-во «Колорит», 2020. — 92 с.
13. Распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 №1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221683/
14. COP26: cities create over 70% of energy-related emissions. Here's what must change. URL: <https://theconversation.com/cop26-cities-create-over-70-of-energy-related-emissions-heres-what-must-change-171307>
15. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022>
16. ГОСТ ISO 10077-1-2021. Характеристики теплотехнические оконных блоков, дверных блоков и жалюзи. Расчет коэффициента теплопередачи. Часть 1. Общие положения.
17. BREEAM International New Construction Guide 2016. URL: <https://www.breeam.com/discover/technical-standards/newconstruction/>
18. «Зеленое» строительство в Москве: Газоны на крышах и «умный» снос пятиэтажек по реновации [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/28345/4491599/>
19. Van Marcke de Lummen G., Katsumoto S. *Carbon Footprint of Glass Manufacturer: How Glasses Contribute to the Mitigation of the Climate Change.* AGC, 2018. URL: <http://copjapan.env.go.jp>
20. Энергетический переход в жилищно-коммунальной сфере [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://fondgkh.ru/news/v-ramkakh-mezhdunarodnogo-foruma-rossiyskaya-energeticheskaya-nedelya-sostoyalas-tematicheskaya-sessiya-fonda-zhkh-energeticheskij-perekhod-v-zhilishchno-kommunalnoy-sfere-i-gospodderzhka-programm-obnovleniya-kommunalnoy-infrastruktury/?sphrase_id=89474