

УДК 697.14

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКНА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОВЫШЕНИЕ ЕГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ

*А. Г. Зима*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

Автором рассмотрена релевантная проблематика уменьшения теплотерь через ограждающие конструкции, а именно через окно как системы, имеющей наименьшее значение сопротивления теплопередаче. Проанализирована нормативно-правовая и библиографическая база. Проведено дифференцирование оконной конструкции на основные элементы и подэлементы в каждой из групп (стеклопакет (дистанционная рамка, осушитель, герметики, камеры), каркас оконного блока (основной профиль, уплотнители, штапики, армирование), материал (покрытие I- или K-стеклом), фурнитуру (прижим уплотнительного контура, устройство проветривания и вентиляции, детали) и монтажный шов (наружный, центральный, внутренний)) с последующей характеристикой их функциональной нагрузки в контексте влияния их свойств на теплоизоляционную способность. Определены пути регулирования (улучшения) данной способности тем или иным механизмом, методом, средством или способом.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные свойства окна, оконный блок, стеклопакет, герметики, профиль, уплотнители, прозрачная часть, фурнитура, монтажный шов.

## WINDOW CHARACTERISTICS THAT AFFECT THE INCREASE OF ITS THERMAL INSULATION PROPERTIES

*A. G. Zima*

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia*

The author considered the relevant problems of reducing heat loss through the enclosing structures, namely through a window as a system with the lowest value of heat transfer resistance. The regulatory, legal and bibliographic base was analyzed, the window structure was differentiated into main elements and sub-elements in each of the groups (glass unit (spacer frame, dehumidifier, sealants, chambers), window block frame (main profile, gaskets, glazing beads, reinforcement), material (coating with I- or K-glass), fittings (clamping of the sealing contour, ventilation and ventilation device, details) and assembly seam (external, central, internal)), with the subsequent characterization of their functional load in the context of the effect of their properties on thermal insulation capacity. The ways of regulation (improvement) of this ability by this or that mechanism, method, means or method are determined.

**Keywords:** thermal insulation properties of a window, window block, glass unit, sealants, profile, gaskets, transparent part, fittings, assembly seam.

Каузальность релевантности тематики эффективного, целесообразного использования энергии, ее сохранения объясняется современными темпами строительства, запросами общества, контролем со стороны государства. Энергоэффективные технологии есть «лакмусовая бумажка» практического «воплощения» инновационных разработок ученых, инженеров, строителей, архитекторов и т. д., обеспечивающих формирование устойчивого развития страны. Апеллируя к гражданскому строительству, отмечается форсированное проектирование энергоэффективных зданий (пассивные, активные, с нулевым энергобалансом и т. п.), характеризующихся высококласным инженерным оборудованием, энергосберегающими технологиями, минимальными теплотерьями. Среди последних дифференцируются трансмиссионные теплотери через ограждающие конструкции (ОК), потери теплоты на нагревание инфильтрующегося через ОК наружного воздуха, добавочные потери теплоты и т. д. [1]. Интерес в исследовании методов повышения теплотехнических (теплоизоляционных) свойств (а именно сопротивления теплопередаче) окна (его элементов) детерминирован важностью сокращения трансмиссионных теплотерь, наибольших по сравнению с другими ОК на единицу площади их поверхности).

Аспекты уменьшения теплотерь через окно автором рассмотрены через описание характеристик его составных элементов, учитывая тот факт, что теплотери в окнах формируются из теплопередачи стеклопакета, теплопередачи оконной рамы и места стыковки стекла к раме.

1. *Стеклопакет* – ключевой элемент оконного блока, включающий в себя систему из двух (и более) параллельных листовых стекол заданной производственной толщины и располагающихся на фиксированном расстоянии друг от друга, плотно удерживающихся по контуру посредством спейсера (дистанционной рамки) и герметика, образующих одну (и более) замкнутую(ые) камеру(ы), заполненные воздухом или инертным газом, осушение которых производится при помощи сорбента (в соответствии с ГОСТ 24866-2014 «Стеклопакеты клееные. Технические условия»).

Факторы, влияющие на теплопроводность стеклопакета:

1. Характеристики спейсера (дистанционной рамки), его материал. В строительстве используются алюминиевые рамки средней оптимальной толщины 10 мм (и более), как правило, до 16-18 мм. Оксидная пленка определяет коррозионную стойкость, устойчивость к внешним воздействиям среды, ультрафиолетового излучения, перепадам температур алюми-

ниевой рамки. Также жесткие алюминиевые спейсеры дают дополнительную фиксацию для листовых стекол, а прочная перфорированная сетка обуславливает полноценное функционирование осушителя. Недостатками применения рамки из описываемого материала являются выпадение при эксплуатации в неблагоприятных условиях конденсата (появление «мостов холода», высокая теплопроводность (коэффициент теплопроводности алюминия  $\lambda$  равен 221 Вт/м\*К) в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением №1)»). Дистанционные рамки из нержавеющей, оцинкованной стали обладают меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  – от 18 до 60 Вт/м\*К, соответственно, стабильными показателями стойкости к любым воздействиям среды, имеют коэффициент линейного температурного расширения  $\approx 12 \cdot 10^{-6}$  на 1 градус Цельсия, что в два раза меньше алюминия, а это, в свою очередь, говорит о практически полном сохранении размеров рамки в процессе эксплуатации (согласно приложению №3 ГОСТ 14249-89 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность»). Пластиковые (поливинилхлоридные – ПВХ) спейсеры имеют значительно меньший коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,15-0,35$  Вт/м\*К, показатели долговечности и стойкости к воздействиям среды тождественны стали. Ввиду этого ПВХ-рамка делает возможным значительно улучшить температурный режим оконного блока, особенно в краевых зонах, а в корреляции с заглублением стеклопакетов в оконных профилях можно говорить о выполнении требований СП по минимальной температуре внутренней поверхности [2].

Важно детерминировать, что температурный режим стеклопакета определяется группой факторов, превалирующе направленных на исключение процесса конвекции воздуха внутри него, т. к. непосредственно движение воздуха в его камерах обуславливает понижение температуры остекления в нижней зоне, ввиду чего увеличивается теплопроводность [2].

На сегодняшний день технологами разрабатываются новые и модернизируются существующие виды спейсеров, предлагаются «теплые» дистанционные рамки, дифференцированные по методикам различными фирмами и верифицированные по обеспечению высоких теплоизоляционных показателей по всей поверхности стеклопакета, исключая возможность выпадения конденсата в его краевой зоне [2]. Например, термопластические дистанционные рамки (TPS) (немецкая фирма) ввиду применения термопластичных профилей из полиизобутилена, имеющего низкий коэффи-

циент теплопроводности  $\lambda = 0,12-0,14$  Вт/м\*К (вместо отдельной рамки, адсорбента и герметика) автоматизации производства, их хорошей герметичности, эластичности, сцепления со стеклом, многообразия типов форм, создаваемых стеклопакетов, и стойкости к внешним воздействиям по праву считаются релевантными и востребованными в современном оконном строительном производстве [3]. В дистанционных рамках ACS+ (швейцарская фирма) также отсутствует металл, они гибкие, имеют уже в своей структуре осушитель, что соответственно редуцирует теплопотери в краевой зоне стеклопакета, повышает температуру внутреннего стекла и значительно снижает вероятность появления на нем конденсата, увеличивает звукоизоляцию от внешнего шума, позволяет использовать в стеклопакетах сложные формы [4]. Важно отметить, что при использовании ПВХ-профилей в каркасе оконного блока целесообразно применять их совместно с «теплой» рамкой, ведь пользуясь алюминиевыми спейсерами выигрыш в сокращении теплопотерь благодаря пластику может быть нивелирован. Технология Swingle Strip – многокомпонентная структура по герметизации стеклопакетов, представленная эластичной лентой, состоящей из осушителя, гофрированной алюминиевой перемычки и герметика, что обуславливает ускорение производства стеклопакетов и наличие ряда преимуществ, тождественных характеристикам рамок TPS [3]. На современном рынке также актуализируются дистанционные рамки системы TGI, состоящие из пленки нержавеющей стали, не допускающей газовой диффузии, и пенопропиленового, улучшающего теплотехнические свойства рамки (образуется «теплая» кромка), а также из адсорбента (силикагеля, молекулярного сита) и герметика (полисульфидного). Дистанционная рамка технологии Super Spacer представлена заполненной осушителем спрессованной термоактивной силиконовой пеной, что обуславливает ряд ее преимуществ: гибкость, эластичность, долговечность (память формы), высокий уровень термического КПД, стойкость к внешним воздействиям, газонепроницаемость, низкий коэффициент теплопроводности (сходный с описанными выше «теплыми» рамками), повышенную звукоизоляцию.

Исходя из вышесказанного, детерминируется значимость не только спейсера, но и осушителя с герметиком в снижении теплопотерь через стеклопакет.

2. Осушитель в стеклопакете выполняет роль поглотителя молекул водяного пара в его камере(ах), проникнувших туда при изготовлении стеклопакета и (или) в процессе эксплуатации (диффузией через герметики). Осуши-

тель может быть представлен силикагелем, молекулярным ситом или их смесью [5].

Молекулярные сита (цеолиты) – это синтетические кристаллические алюмосиликаты, (в виде гранул), с трехмерной системой пор определенного диаметра: от 3 до 10 ангстрем ( $\text{Å}$ ), что (для молекулярных сит ( $3 \text{ Å}$ )) позволяет адсорбировать молекулы воды ( $d = 3 \text{ Å}$ ), а молекулы азота ( $d = 3,7 \text{ Å}$ ), аргона ( $d = 3,6 \text{ Å}$ ), криптона ( $d = 3,1 \text{ Å}$ ) не поглощать, вследствие чего сохраняется постоянное давление внутри стеклопакета (удается избежать вогнутых деформаций) [5, 6].

Силикагель – это высушенный гель кремниевой кислоты (ангидрид кремниевой кислоты), гидрофильный адсорбент аморфной микропористой структуры с системой открытых пор с размером диаметра в среднем диапазоне от 40 до 100  $\text{Å}$ , водоадсорбционная способность которого в разы хуже, а скорость меньше в сравнении с молекулярными ситами [5].

### 3. Герметики.

Анализируя наиболее часто применяемые материалы для создания герметичного слоя по контуру стеклопакета, можно выделить бутил, обладающий высокой степенью пластичности, эластичности, прочности, адгезии к различным материалам дистанционной рамки (включая ПВХ-спейсеры), устойчивости к внешним воздействиям, низкой паропроницаемостью и теплопроводностью. Бутилом производится первая стадия герметизации: бутиловый герметик наносят на внешние края спейсера равномерно в расплавленном состоянии ( $t^\circ \approx 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при помощи бутиловых экструдеров с последующей опрессовкой стеклопакета, что не дает возможности проникнуть водяному пару внутрь стеклопакета и диффузии газа из него.

Вторая стадия герметизации производится двухкомпонентным полисульфидом, наносимым полисульфидным (тиоколовым) экструдером по торцу стеклопакета, обеспечивая структурное, прочное и эластичное образование, скрепляющее воедино стекло и рамку на молекулярном уровне и дополнительную паропроницаемость и защиту от утечки газа. Также используются полиуретановые герметики (превалирующие для ПВХ-спейсеров), у которых адгезия к поливинилхлориду сравнима со стеклом (в отличие от полисульфида, имеющего низкую адгезию к ПВХ), еще меньше диффузионная способность, водопоглощение. Структурный силикон в качестве вторичного герметика отлично проявляет себя для заполнения швов структурного остекления вследствие его долговечности, устойчивости к УФ-излучению, прочностных качеств и эластичности.

4. Количество камер (пространств между стеклами, заполненными или воздухом, или инертным газом): с увеличением количества

камер теплотехнические характеристики стеклопакета выше, максимальное оптимальное количество камер, предлагаемых на современном рынке – 3. Уменьшить теплопроводность стеклопакета также можно благодаря заполнению: межстекольное пространство может заполняться как воздухом ( $\lambda = 0,025 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ ), так и аргоном ( $\lambda = 0,0168 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ ), криптоном ( $\lambda = 0,009 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ ), ксеноном ( $\lambda = 0,005 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ ), позволяющими еще больше увеличить коэффициент сопротивления стеклопакета, но ввиду дороговизны криптон и ксенон почти не используются, а заполнение аргоном, вместо воздуха, актуально и целесообразно [7]. Также разрабатываются инновационные вакуумные стеклопакеты, коэффициент теплопроводности которых стремится к нулю. Но, учитывая существующие недостатки (хрупкость, риск разгерметизации, риск выпадения конденсата в краевой зоне при значительных отрицательных температурах) и их высокую стоимость и сложность производства, они не нашли широкого распространения, но несомненно перспективны в будущем [8].

### 2. Каркас оконного блока.

1. Оконная рама представляет собой ключевой элемент каркаса оконного блока, в нее вставляются стеклопакеты и на нее навешиваются створки. На теплотехнические характеристики оконных рам влияют несколько факторов:

Материал рамы может быть представлен алюминием, пластиком, деревом. Популярность обрело использование ПВХ-профилей, что объясняется рядом преимуществ: низкой теплопроводностью ( $\lambda = 0,15\text{--}0,35 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ ), погодостойкостью, долговечностью, гигиеничностью, экономичностью, универсальностью. Вопрос экологичности материала неоднозначен, ведь в широком его понимании важно учитывать безвредность поливинилхлорида для окружающей среды как во время эксплуатации, так и во время получения, транспортировки, утилизации, переработки и т. д., что, конечно, требует комплексного (интегративного) анализа химиков, инженеров, технологов. Применимо к процессу эксплуатации пластиковых окон, учитывая соблюдение производителями всех требований и предписаний ГОСТ по изготовлению ПВХ и современные технологии, можно говорить о его безопасности для человека при использовании профилей по назначению (выделение винилхлорида, хлора и винилацетата в пределах установленных норм, вместо солей кадмия и свинца в качестве стабилизатора все чаще применяется кальций-цинковый) [9]. Рамы из древесины менее популярны, ввиду более сложных производственных технологий для изготовления качественных профилей (учитывая пороки, сложную систему сушки) имеют высокую стоимость, но

они обладают своими преимуществами: удерживают звуковые колебания низкой и высокой частоты (ПВХ – преобладающе только высокие частоты), гипоаллергенны, экологичны на всем «жизненном» цикле, воздухопроницаемы (материал «дышит»). Также коэффициент линейного температурного расширения древесины в разы меньше, чем у пластика, что при ее качественной обработке огнебиозащитными составами отражается на повышенной долговечности (до 40–80 лет, с учетом дополнительной покраски в среднем раз в 5–10 лет). Применение алюминиевых профилей по популярности занимает третье место, что объясняется во многом коэффициентом теплопроводности алюминия ( $\lambda = 221 \text{ Вт/м}^*\text{К}$ ), превышающим во много сотен раз соответствующий коэффициент для описанных выше материалов (добавление полиамидных термовставок в современные алюминиевые профили нивелирует это различие, но сохраняет ситуацию) [10]. В свою очередь, данные профили обладают ценными для эксплуатации характеристиками: повышенной долговечностью, прочностью, стабильностью, стойкостью к внешним воздействиям среды. Их не рекомендуется применять в жилом строительстве, но в общественных зданиях использование рационально и целесообразно (учитывая качественную герметизацию).

На теплоизоляционные характеристики каркаса оконного блока также влияет монтажная ширина профиля (расстояние между его внутренней и внешней стороной), значение которой находится в большом диапазоне (в зависимости от количества камер профиля и толщины его внутренних стенок). Например, толщина внешних стенок от 3 мм и внутренних от 2,0 мм позволяет также уменьшить теплопотери. В соответствии с ГОСТ 30674-99 «Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей. Технические условия» минимальная ширина профиля составляет 58 мм, а эффективным оптимальным значением для наших метеорологических условий можно считать от 70 мм. Иногда производители заполняют одну более широкую камеру профиля вспененным полимером, что также может дать выигрыш в теплоизоляции.

2. Дополнительные элементы каркаса оконного блока.

#### *Уплотнители*

Система уплотнителей (упругих и эластичных элементов) представляет собой важный элемент каркаса, служащий для уплотнения (герметизации) стыков оконного профиля (2 контура по периметру стеклопакетов и 2 контура уплотнения «рама-створка»), а следовательно, для уменьшения теплопотерь, возможности проникновения влаги и пыли. Среди основных применяемых уплотнителей выделяют:

1.1) резину на основе вулканизированного каучука этилен-пропилен-диенового (EPDM), благодаря которому уплотнитель имеет структуру с отличными показателями эластичности и упругости (память формы); но данный вид уплотнителя требует больших производственных затрат, качество которого во многом зависит от соотношения используемого каучука и добавок;

1.2) резину на основе силиконовых каучуков (VMQ), состоящих из кислородосодержащих кремнийорганических соединений, подверженных пероксидной вулканизации. Образующие особые химические связи дают силиконовой резине более высокие показатели эластичности, стабильности свойств при обширном диапазоне температур, чем EPDM, но вместе с этим данный вид уплотнителя нецелесообразно применять для жилья из-за его высокой стоимости, используется в узкопрофильных областях строительства [11];

2) термопластичные эластомеры или термоэластопласты (TPE) – блоксополимеры, состоящие из чередующихся полибутадиеновых (эластичных) и полистирольных (термопластичных) цепей, что обуславливает дуализм их свойств, а также возможность вторичной переработки в отличие от терморезистивных эластомеров [11];

2.1) PVC – мягкий, пластифицированный поливинилхлорид (пластикат). Ввиду средних показателей эластичности (при относительно стабильных температурах внутреннего воздуха), «затвердевания» при низких температурах, применяется в качестве коэкструдированного уплотнителя для штапиков (ГОСТ 30673-2013 «Профили поливинилхлоридные для оконных и дверных блоков. Технические условия»), а именно для фиксации стеклопакета к профилю со стороны комнаты, что, учитывая невысокую стоимость пластиката, целесообразно;

2.2) TPE-S или TPS – один из самых востребованных блоксополимеров TPE в строительстве, основанный на стирол-бутадиен-стирольных невулканизуемых (SBS) или стирол-этилен-бутадиен-стирольных (SEBS) каучуках, благодаря которым обладает набором положительных свойств как «мягкой» составляющей – термопластичной резины (высокие деформационно-прочностные показатели, эластичность, химическая и УФ-стойкость, долговечность, эксплуатационная «неприхотливость»), так и «твердой» составляющей – термопластов (высокий уровень жесткости, экологичность (ввиду отсутствия химических добавок (не нужна «химическая» вулканизация)), возможность переработки, уменьшение трудоемкости обработки, легкость в сварке) [12];

2.3) TPE-V или TPV – компаунд, не уступающий по актуальности в современном строительстве описанному выше пластиomerу, но в отличие

от него состоит из двух фаз: эластомерной, представленной динамически вулканизированным EPDM, и термопластичной – полиолефинами. Динамическая вулканизация обуславливает тождественность свойств TPV и EPDM, но благодаря полиолефинам, уплотнитель обретает повышенную технологичность, эвентуальность обработки (сварки) и переработки [13].

#### *Штапики*

Штапик – играющий значительную роль в целостности, герметизации, шумоизоляции конструкции и уменьшении теплопотерь элемент оконного каркаса, фиксирующий стеклопакет и удерживающий его внутри рамы (створке).

Материалы штапиков аналогичны используемым в профилях. Так наиболее востребованным из них на сегодня является вспененный (обычно представлен рейкой определенных размеров) или пластифицированный поливинилхлорид (коэкструдированный уплотнитель с рейкой), что связано, конечно, с широким распространением пластиковых окон. Свойства PVC были описаны выше (среди которых выделяется гибкость, долговечность, легкость изделия, простота эксплуатации), но пластифицированный поливинилхлорид (в сравнении со вспененным) позволяет совмещать функцию штапика с уплотнителем.

Деревянные штапики менее популярны, применимы только к аналогичным оконным конструкциям, по теплоизоляционным свойствам находятся в пределах ПВХ-деталей, характеризуются высокой стоимостью, повышенными требованиями к качеству, но, в свою очередь, благодаря возможности их обработки позволяют реализовывать индивидуальные предпочтения. Алюминиевые штапики также используются, обладают набором преимуществ и недостатков, характерных для аналогичных профилей.

Одним из стремительно развивающихся материалов для производства оконных профилей (штапиков) является стеклокомпозит – пултрузионный стеклопластик, «цементирующим» элементом которого является стекловолокно, а связующим – смесь полиэфирных смол. Благодаря своей структуре характеризуется отличными показателями теплоизоляции, прочности (сравнимой со сталью), долговечности, экологичности, звукоизоляции [14].

#### *Армирование*

Ввиду закрепления на рынке окон из ПВХ, что связано, как говорилось ранее, с его отличными теплотехническими характеристиками, необходимо отметить существующий у данного вида окон недостаток – деформации. Компенсирование деформаций, обеспечение жесткости конструкции и устойчивости к воздействиям среды достигается путем применения армиру-

ющего (усилительного) металлического замкнутого (незамкнутого) вкладыша, размещаемого в основной камере профиля, локальность и вариабельность размеров которого обусловлена геометрическими параметрами самого профиля. В соответствии ГОСТ 30674-99 «Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей. Технические условия» минимальная толщина стенок вкладыша должна быть не менее 1,2 мм, а для усиления цветных и морозостойких профилей рекомендуется – не менее 1,5 мм. К сожалению, в связи с применением металлического (стального) вкладыша теплоизоляционные характеристики профиля ухудшаются, особенно значительно при замкнутом контуре вкладыша, но постепенно начинают внедряться предложенные технологами альтернативные по свойствам материалы, а вместе с тем с более низкой теплопроводностью, среди которых выделяются стеклокомпозитные (рассмотренные ранее) и стремительно развивающийся – фиброволокно, формирующее жесткий и одновременно «теплый» профиль (коэффициент теплопроводности сравним с пенобетоном).

#### *3. Материал (покрытие стекла).*

Основная часть окна – это, конечно, его остекление. На современном рынке отлажена точная типология типа стекла и его функции, так за сокращение теплообмена между помещением и улицей отвечают энергосберегающие стекла.

Сокращение теплопотерь основывается на использовании специального покрытия стекла, разделяющего волны спектра на длинные и короткие, пропуская внутрь помещения видимое (солнечное) излучение и отражая длинноволновое тепловое излучение от нагретых предметов в помещении, называемого низкоэмиссионным (селективным) (эмиссивитет стремится к нулю) [15]. Несмотря на дороговизну и меньший срок службы данного вида стекол, применение их целесообразно и оправдано: в зимнее время года они позволяют минимизировать тепловое излучение из помещения, предотвратить «запотевание» стекол, а летом предохраняют комнату от перегрева, минимизирует выгорание постоянно освещаемых предметов. Энергосберегающие стекла делают возможным уменьшить камерность стеклопакета (двухкамерный стеклопакет из обычного стекла по теплоизоляционным свойствам уступает энергосберегающему однокамерному), что, в свою очередь, снижает вес стеклопакета.

Энергосберегающие стекла представлены двумя видами – «i» и «k».

#### *I-стекла:*

Металлизированное (мягкое) покрытие наносится в вакууме катодным распылением металлсодержащих соединений, а именно слоя

серебра, с последующим нанесением диоксида титана при действии магнитного поля [16]. Мягкое покрытие характеризуется низкой химической и абразивной стойкостью (возможность окисления), ввиду чего необходимо строго соблюдать эксплуатационные требования и его нанесение происходит на обращенную внутрь сторону стеклопакета [16]. Однако по теплоизолирующим показателям оно превосходит к-стекло (так сопротивление теплопередаче однокамерного стеклопакета из обычного стекла  $\approx 0,35$  ( $\text{м}^2\cdot\text{К}$ )/Вт, к-стекла  $\approx 0,50$  ( $\text{м}^2\cdot\text{К}$ )/Вт, i-стекла до  $0,70$  ( $\text{м}^2\cdot\text{К}$ )/Вт) [16].

К-стекла:

При производстве стекла при очень высокой температуре в процессе пиролиза металлизированное (твердое) покрытие (слой оксида индия-олова) в несколько этапов вводится в стеклянную массу, молекулы которого проникают в кристаллическую решетку стекла, что обуславливает его отличную стойкость к воздействию внешней среды [16]. Покрытие наносится на ту сторону стекла, которая обращена в помещение, ввиду структурных особенностей можно не бояться его повреждений.

#### 4. Фурнитура.

Высококачественная фурнитура для окон – слаженная система, обуславливающая открывание окна в различных режимах, одна из обязательных составляющих уменьшения теплопотерь, а, следовательно, создания благоприятного микроклимата в помещении, в которую входят следующие элементы: прижим уплотнительного контура, устройство проветривания и вентиляции, детали: петли, ручка и т.д.

Грамотно выполненный прижим для ПВХ-окон определяет быстроту и легкость их открывания и закрывания, одновременно с этим обеспечивая необходимую герметичность конструкции. Точки прижима отвечают за плотность прилегания створок, что как раз и обеспечивает уменьшение теплопередачи; они располагаются в основном в тех местах, где запорные цапфы заходят за ответные планки (их число напрямую зависит от габаритов створки и типа ее открывания).

В зависимости от типа устройства окна могут иметь (в соответствии с ГОСТ 30777-2012 «Устройства поворотные, откидные, поворотно-откидные, раздвижные для оконных и балконных дверных блоков. Технические условия»):

- 1) поворотную (распашную) створку, оборудованную шестью и более точками прижима;
- 2) поворотно-откидную створку – до шести точек прижима, что достаточно для ее качественной герметизации.

Важно отметить, что плотность прилегания створок к раме зависит от двух механизмов как

от управляющейся ручкой системы запоров (цапфа-ответная планка), так и от прижимов (скрытых или наружных), не зависящих от ручки, усиливающих герметизацию окна.

Современные системы автоматического оконного привода являются актуальным решением для автоматизации процесса проветривания и автоматического регулирования герметичности прилегания створок.

Развивается тенденция применения системы параллельно-сдвижной фурнитуры, обеспечивающей проветривание помещения, едва ли не с закрытыми окнами, параллельное смещение створки составляет  $\approx 8$  мм, в результате чего проветривание происходит без ощутимого охлаждения воздуха в помещении.

Установка приточно-вентиляционных клапанов с системой фильтров позволяет избегать сквозняков (микропроветривание), в то же самое время поддерживать циркуляцию воздуха, а также уменьшать теплопотери [17].

Установка рекуператоров воздуха является инновационным решением по созданию системы вентиляции, независимой от окон, но необходимо определить ее целесообразность по назначению помещения и его габаритов [18].

Петли изготавливаются из металла, ввиду чего являются мостиком холода, ухудшающим теплоизоляционные характеристики окна. Применение скрытых петель позволит минимизировать это отрицательное воздействие и исключить «замятие» уплотнительного контура, а, следовательно, уменьшить «продувание», обеспечить увеличение срока их службы.

Для уменьшения теплопотерь ручки, изготовленные из металла (отличающиеся долговечностью использования), покрываются тонким слоем пластика.

#### 5. Монтажный шов.

От тщательности герметизации монтажного зазора напрямую зависят теплотехнические свойства окна. Применяются три слоя заделки: снаружи – гидроизоляционный, защищающий от различных воздействий окружающей среды, по середине – утепляющий, изнутри – пароизоляционный (согласно ГОСТ 30971-2012 «Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия»).

Наружный слой является «преградой», обеспечивающей защиту теплоизоляционного слоя от влаги, но обладающий паропроницаемостью, необходимой для исключения образования влаги в утеплителе. Современный наружный слой представлен предварительно-сжатыми уплотнительными лентами (ПСУЛ), имеющими уникальную способность – расширяться после установки, заполняя все неровности четверти в проеме, и применяется в основном при правильной геометрии проема. Также высокими показателями долговечности, стойкости и еще

отличными характеристиками прочности сцепления с основанием, водонепроницаемостью обладают акрилатные паропроницаемые герметики (Стиз А). Силиконовые герметики также могут быть применены для наружных работ, но перед его нанесением необходимо предварительно подготовить поверхность.

Далее устраивается центральный слой – теплоизоляционный, представленный полиуретановой пеной. Важно применять пену, рассчитанную конкретно для установки окон, что обеспечит равномерность заполнения зазоров и отсутствие необходимости в подрезке ее после застывания.

Внутренний слой – пароизоляционный (защищает утеплитель от попадания в него водяных паров со стороны помещения), выполненный по периметру оконной рамы пароизоляционной (полнобутиловой) лентой, возможно применение силиконового герметика.

Следует также отметить, что для исключения появления «моста холода» окно необходимо устанавливать в «теплой» зоне стены, а именно в плоскости теплоизоляционного материала или за четвертью из него.

Важно детерминировать, что для комплексного снижения теплопередачи между помещением и улицей валидно дифференцировать окно на различные элементы с уменьшением теплопотерь на каждом из них, что было сделано в данной статье, т. к. улучшение теплоизоляционных свойств одной из составляющих окна может не обеспечить выполнение требований СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением №1)» по нормируемому значению приведенного сопротивления теплопередаче окна  $R_o^{норм.}$ .

*Можно сделать ряд заключений:*

Установлено, что основная часть теплопотерь в окнах формируются за счет теплопередачи стеклопакета: за счет дистанционной рамки, осушителя, герметика, камеры. Определено, что значительное улучшение теплоизоляционных свойств (уменьшение теплопотерь) стеклопакета возможно только при интеграции всех его элементов.

1. ПВХ-рамки (а также современные виды «теплых» спейсеров (TPS-рамки, ACS+, системы Swingle Strip, TGI, Super Spacer) делают возможным значительно улучшить температурный режим оконного блока, особенно в краевых зонах.

2. Осушитель (молекулярные сита) минимизирует возможность проникновения влаги внутрь стеклопакета.

3. Эффективную герметизацию первой стадии производят бутилом, вторую – двухкомпонентным полисульфидом (полиуретановыми герметиками или структурным силиконом).

4. По показателям энергоэффективности рекомендовано использование трёхкамерного

стеклопакета с заполнением аргоном, а также перспективно – вакуумных стеклопакетов.

5. Применение энергосберегающих стекол с низкоэмиссионным покрытием (с мягким (I-стекла) и твердым (K-стекла)) позволит уменьшить тепловое излучение из помещения, предотвратить «запотевание» стекол, а летом предохранить комнату от перегрева, а также уменьшить камерность стеклопакета.

Каркас оконного блока играет значительную роль в теплопотерях окна. Вследствие этого рекомендуется:

1. Использовать оконную раму, учитывая, что ПВХ-профили обладают, безусловно, рядом преимуществ, среди которых низкая теплопроводность, погодостойкость, долговечность, гигиеничность, экономичность, универсальность, но по показателям экологичности более безопасны деревянные профили, алюминиевые профили целесообразно применять в общественных зданиях. Они обладают ценными для эксплуатации характеристиками: повышенной долговечностью, прочностью, стабильностью, стойкостью к внешним воздействиям среды. Перспективный материал – стеклокомпозит характеризуется корреляцией описанных выше показателей, вследствие чего оценивается как наиболее целесообразный к применению.

2. В качестве уплотнителей использовать термопластичные эластомеры (TPE-S, TPE-V), которые имеют возможность вторичной переработки в отличие от терморезистивных эластомеров, детерминируются лучшими характеристиками в сравнении с последними, но при строгом соблюдении условий их эксплуатации.

Фурнитура (прижим уплотнительного контура, устройство проветривания и вентиляции, детали: петли, ручка и т.д.) также является одной из обязательных составляющих уменьшения теплопотерь, создания благоприятного микроклимата в помещении. Качественно выполненная система прижимов и запоров ПВХ-окон определяет необходимую герметичность конструкции. Современные системы процесса проветривания (вентиляции) представлены автоматическим оконным приводом, устройством параллельно-сдвижной фурнитуры, установками приточно-вентиляционных клапанов с системой фильтров, рекуператоров воздуха.

От тщательности герметизации монтажного зазора напрямую зависят теплоизоляционные свойства окна. Современный наружный слой представлен предварительно-сжатыми уплотнительными лентами (ПСУЛ), акрилатными паропроницаемыми герметиками (Стиз А), центральный слой – полиуретановой пеной, внутренний слой – пароизоляционной (полнобутиловой) лентой.

Только совместная корреляция инновационных исследований теплоизоляционных ха-

характеристик каждого из элементов позволит свести теплопотери к минимуму.

#### Список литературы

1. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.
2. Бушо А. В. Факторы, определяющие температурный режим стеклопакетов в краевых зонах // Вестник МГСУ. 2011. №1-1. С. 64–69.
3. Кривошеин А.Д., Пахотин Г.А. Результаты испытаний теплового режима стеклопакетов с дистанционными рамками типа «Swiggle strip», «TPS», «Thermix» // Окна и двери. 2005. № 7. С. 40–43.
4. Энергоэффективность стеклопакетов: от А до Я // Оконные технологии. 2019. №75(1). С. 66–69. URL: <https://www.wt.com.ua/biblioteka/arkhiv-nomerov/866-75-1-2019.html> (дата обращения: 31.07.2020).
5. Влияние «теплого торца» стеклопакета на теплозащитные качества окон // Оконные технологии. 2007. №30(4). URL: <https://www.wt.com.ua/biblioteka/arkhiv-nomerov/51-30-4-2007.html> (дата обращения: 01.08.2020).
6. Бекман И. Н. МЕМБРАНЫ В МЕДИЦИНЕ: курс лекций. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2010. URL: [http://profbeckman.narod.ru/MedMemb.htm#Рекомендованная\\_литература](http://profbeckman.narod.ru/MedMemb.htm#Рекомендованная_литература) (дата обращения: 01.08.2020).
7. Свойский В. З. Вязкость и теплопроводность газов в диапазоне температур от 100 до 2000 К. Ученые записки ЦАГИ, 1973, Т. 4, №1, С. 126-132.
8. Клыков И. А., Стратий П. В. Теоретические исследования теплотехнических свойств вакуумных стеклопакетов. Системные технологии. 2018. № 26. С. 221-228.
9. Степанова Л. Б. ПВХ-композиции с жидкими комплексными стабилизаторами на основе кальций-цинковых солей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / Л. Б. Степанова; [Место защиты: Казан. нац. исслед. технол. ун-т]. Казань, 2013. 19 с.
10. Борискина И. В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Пром. и гражд. стр-во» направления подгот. дипломов. специалистов «Стр-во» / И. В. Борискина, А. А. Плотников, А. В. Захаров. [2-е изд., доп. и перераб.]. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2003. 310 с.
11. Энциклопедия полимеров [Текст]: [в 3 т.] / редкол.: В. А. Каргин - гл. ред. и др. - Москва: Советская энциклопедия, 1972 - 1977. Т. 1: А - К. 1972. 1224 стлб.
12. Корнев А. Е. Технология эластомерных материалов: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Химическая технология высокомолекулярных соединений и полимерных материалов» по специальности «Технология переработки пластических масс и эластомеров» / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Швердяев; под ред. А. Е. Корнева. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Истек, 2009. 502 с.
13. Вольфсон С. И., Охотина Н. А., Панфилова О. А., Новикова Е. В., Миннегалиев Р.Р. Динамически вулканизированные термоэластопласты на основе смеси каучуков разной полярности и полипропилена // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №14. С. 90-92.
14. Абрамян С.Г., Власова М.П., Власов Р.А. Современные стеклопакеты для устройства светопрозрачных ограждающих конструкций // Инженерный вестник Дона. 2017. №3. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_120\\_Abramian.pdf\\_66f9b1c5de.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_120_Abramian.pdf_66f9b1c5de.pdf) (дата обращения: 01.08.2020).
15. Майоров В. А. Оконные стекла – состояние и перспективы // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 124. №4. С. 559-573.
16. Богатова Т. В., Белохорт А. В. Теплосберегающие окна с низкоэмиссионным покрытием // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: высокие технологии. Экология. 2015. №1. С. 165-168.
17. Литвинова Н.А. Эффективное применение клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха в многоэтажном строительстве // Инженерный вестник Дона. 2020. №3 (63). С. 25-38.
18. Миронов Е. Б., Шишарина А. Н. Анализ приточно-вытяжных установок с рекуперацией тепла // Вестник НГИЭИ. 2014. №12 (43). С. 58-64.

© А. Г. Зима

#### Ссылка для цитирования:

А. Г. Зима. Характеристики окна, влияющие на повышение его теплоизоляционных свойств // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. №3 (33). С. 40–47.

УДК 628.349.08:663.97

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО КОМПОЗИТНОГО СОРБЕНТА

<sup>1</sup>Д. О.Игнаткина, <sup>1</sup>А. В. Москвичева, <sup>2</sup>А. А. Войтюк, <sup>1</sup>В. И. Салеева

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

<sup>2</sup>ООО «ОдинНаучСтройПроект», г. Волгоград, Россия

В данной статье авторами освещается одна из важных проблем в области охраны окружающей среды, а именно увеличение количества отходов в виде сточных вод (СВ), попадающих в водные объекты, чаще всего без требуемой степени очистки. Основной причиной развития обозначенной проблемы является стремительный рост промышленного производства. Авторами статьи был произведен литературный поиск эффективных и экономически оправданных способов очистки промышленных сточных вод. В статье приведены результаты исследований, доказывающие эффективность доочистки промышленных сточных вод сорбционным методом с использованием гранулированного композитного сорбента (ГКС), способ получения которого разработан сотрудниками кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ВолГТУ. В ходе проведения лабораторных экспериментов изучались процессы адсорбции загрязняющих веществ в статических и динамических условиях с применением нового фильтрующего материала, результаты экспериментов были отражены в виде выходных кривых поглощения. В статье представлены основные положения теории Ленгмюра, на основании которой авторами был произведен математический анализ полученных экспериментальных закономерностей при осуществлении процесса сорбционной доочистки промышленных сточных вод с применением ГКС.