

674:658.512.011.56:69.028(07)

А. А. Гаврилов, инженер ДКУСП (Шумилинская ПМК-70);
С. П. Трофимов, канд. техн. наук, доцент (БГТУ)

ПОИСК РЕШЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ОКОН

Поиск конструктивных решений и материалов, которые обеспечивают улучшение теплоизоляции окон, является одной из важных задач повышения энергоэффективности. Однако решения, предлагаемые разработчиками изделий, и усложнение технологии создают множество новых проблем, которые требуют их всестороннего анализа.

Search of constructive decisions and materials which provides improvement of the heat isolation properties of windows, is one of the important tasks of increasing energy efficiency of buildings. However, decisions offered by developers increases cost of products, complexity of technology and create a number of new problems at operation of buildings that demands their all-round analysis.

Введение. Необходимость энергосбережения и повышения энергоэффективности зданий на основе совершенствования светопрозрачных ограждающих конструкций очевидна. Именно поэтому 1 июня 2009 г. была утверждена Комплексная программа по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь на 2009–2010 годы и на перспективу до 2020 года, согласно которой коэффициент термического сопротивления окон должен достигнуть $1 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Вместе с тем производители и специалисты считают [1], что двигаться по этому пути следует осторожно, учитывая все обстоятельства, включая возможности изготовителей и потребителей оконных блоков. Недостаточно обоснованные решения могут привести к тому, что просчеты в проектировании и производстве окон ощутит на себе потребитель.

Основная часть. Со времени появления окон с повышенной теплоизоляцией не утихает спор: надо ли вообще их применять, если из-за них нарушается вентиляция квартир, появляется плесень на откосах оконных проемов, снижается уровень комфортности и санитарных условий проживания. Из-за герметичности теплозащитных окон и швов их примыкания к проему стены, для обеспечения работы системы вентиляции жителям приходится периодически открывать створку, через которую уходит большая часть «сэкономленного» тепла. Поэтому требуется решение проблемы вентиляции и кондиционирования воздуха. Ведь практически все жильё проектируется с учетом того, что выброс загрязненного воздуха на улицу обеспечивают вентканалы, а его приток – неплотности в окнах и дверях. Лишившись щелей в окнах, мы избавляемся не только от сквозняков и шума, но и кислорода, приобретаем духоту, избыток влаги, выпадающей на стеклах, и массу микробов.

Сегодня есть попытки решения вопроса за счет установки различных клапанов, фурниту-

ры, механических устройств, но все это приводит к удорожанию оконных блоков, усложнению конструкции и производства, к снижению сопротивления теплопередаче. Жильцы многоэтажек предпочитают открывать форточки, через которые улетает с таким трудом сохраняемое тепло, в квартиры проникает загрязненный воздух, и шумоизоляция окна при этом значительно падает. И только создание новых современных требований к проектированию вентиляции зданий решает эту проблему.

Светопрозрачные конструкции состоят из светопрозрачного материала (остекления) и обрамляющих его элементов (створки и коробки). В зависимости от оконной системы и ее размеров на непрозрачные участки окна может приходиться до 30% его площади. Среднее сопротивление теплопередаче по площади окна, учитывающее наличие светопрозрачной и непрозрачной части, должно быть не менее $1 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Рассмотрим различные варианты повышения термического сопротивления оконных блоков. Увеличения термического сопротивления окон можно достичь путем увеличения числа слоев остекления. Однако увеличение числа слоев остекления свыше трех нецелесообразно из-за существенного увеличения веса окна и снижения коэффициента пропускания света, увеличения расхода материала на коробку и створку окна для обеспечения их повышенной механической прочности. Предельным является трехслойное остекление в виде двухкамерного стеклопакета. Таким образом, для улучшения теплозащитных свойств окон необходимо искать другие возможные пути совершенствования их конструкции, рассматривая пути улучшения теплозащитных свойств каждого из элементов окна: оконной коробки, створки и собственно остекления.

Известны способы увеличения термического сопротивления собственно остекления окон за счет заполнения межстекольных промежутков стеклопакетов инертными газами

с низким значением коэффициента теплопроводности (аргон, криптон) и использования селективно отражающих покрытий стекол для уменьшения радиационной составляющей теплопотерь (таблица). Для длительного сохранения инертного газа в стеклопакете требуется цельногнутая металлическая дистанционная рамка, на которую не следует забывать нанести маркировку стеклопакета, а также качественный бутил и его качественную экструзию на рамку. Все, что пройдет через бутил, пройдет и через любой другой герметик. Дело в том, что газопроницаемость бутила на порядок меньше, чем у иных герметиков. А сквозь металлическую преграду газ не просочится. Поэтому стеклопакет с металлической дистанционной рамкой намного лучше удерживает аргон, чем стеклопакет без рамки. Вот и теплые спейсеры в связи с этим снабжают металлической фольгой. Но они намного дороже решения с металлической рамкой. Применение же металлических рамок понижает сопротивление теплопередаче, приводит к выпадению конденсата.

Использование селективного напыления стекла для уменьшения радиационной составляющей теплопотерь является эффективным способом увеличения термического сопротивления стеклопакета. В настоящее время производятся два вида полированного стекла с измененными спектральными характеристиками для обеспечения теплосбережения – стекла с «твердым» и «мягким» покрытиями.

Стекла с «твердым» покрытием получают методом пиролитического осаждения оксидов металлов на поверхность размягченного стекла. Суть метода состоит в сжигании в кислороде газообразных металлоорганических соединений. Образующиеся в результате этого процесса молекулы оксидов металла в смеси с атомарным металлом осаждаются на поверхность расплавленного стекла, практически, впекаясь в него. Процесс осаждения происходит непосредственно на конвейере разлива стекла. Варьируя толщиной окисла, видом металла и степенью насыщенности поверхности, можно изменять такие характеристики, как коэффициент отражения, светопропускания и даже цветность (в ограниченных пределах). Получаемые указанным способом покрытия очень прочны, их называют «твердыми», а стекла с таким покрытием – *k*-стеклами. У *k*-стекло коэффициент эмиссии снижен до 0,2, что позволяет снизить тепловое излучение и теплопотери в 4–4,5 раза.

К «мягким» покрытиям относят покрытия, получаемые вакуумным распылением пленкообразующих материалов. Само покрытие представляет собой систему слоев, в которой слой прозрачного диэлектрика играет роль просветляющего, а низкую эмиссию излучения обеспе-

чивает очень тонкий слой серебра. Стекла с таким покрытием называют *i*-стеклами. Коэффициент эмиссии *i*-стекла не превышает величины 0,1 и может достигать значения 0,04, что позволяет снизить теплопотери уже не в 4 раза, а на целый порядок.

Так, если коэффициент теплопередачи однокамерного стеклопакета с чистым флоат-стеклом равен 2,8 Вт/м²·К, то коэффициент теплопередачи того же стеклопакета с *k*-стеклом равен 1,9 Вт/м²·К, а с *i*-стеклом при заполнении стеклопакета аргоном составит 1,3 Вт/м²·К. Например, при наружной температуре –26°С и температуре в помещении +20°С температура на поверхности стекла внутри помещения будет у обычного стеклопакета +5, у стеклопакета с *k*-стеклом +11, а у стеклопакета с *i*-стеклом +14°С.

Получается, что наиболее высокого сопротивления теплопередаче можно достичь, применяя в стеклопакете *i*-стекло. Оптимальными схемами стеклопакетов на данный момент являются: 4i-12Ar-4-12Ar-4i или 4i-16Ar-4-16Ar-4i. Почему не стоит использовать в качестве среднего стекла *i*-стекло? Этот вариант затратный, так как среднее стекло с низкоэмиссионным покрытием подвержено термошоку и поэтому требует закалки. И если эта процедура для обычного стекла стоит от 3 до 6 евро за квадратный метр, то в случае *i*-стекла ее цена возрастает до 15–20 евро за квадратный метр. К тому же в Беларуси нет соответствующего оборудования для закалки. Еще одна проблема – *i*-стекло подвержено окислению. И если в результате термошока или другой причины, например механического удара, случится разгерметизация стеклопакета, то в отличие от обычного (с флоат-стеклом), это станет заметной намного быстрее! Значительно ухудшится внешний вид остекления – появятся пятна окислов. И, естественно, ухудшатся теплотехнические характеристики светопрозрачной конструкции. Применение же криптона даст повышени сопротивления теплопередаче на 10–15%, но, во-первых, его в стране нет, а во-вторых, он, в отличие от аргона, дорог: его цена примерно два евро за литр.

Если приведенное сопротивление теплопередаче рамы и створки составляет примерно 0,72, а остекления в виде стеклопакета – 1,12, то в целом сопротивление теплопередаче окна будет как раз равно единице, при этом непрозрачная часть составляет около 30% оконного блока.

Имея в наличии двухкамерный стеклопакет с двумя *i*-стеклами и заполненный аргоном, необходимо добиться сопротивления теплопередаче створки и коробки примерно 0,7 м²·°С/Вт. Как этого достичь? На данный момент уже есть наработки в этом вопросе.

Изменение сопротивления теплопередачи стеклопакетов при изменении конструкции

Тип остекления	Формула стеклопакета, мм	Заполнитель	Коэффициент сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Стеклопакет			
однокамерный	4-12-4	воздух	0,35
однокамерный	4-16-4	«	0,36
однокамерный	4-Аr12-4	аргон	0,37
однокамерный	4-Кr12-4	криптон	0,39
однокамерный с <i>i</i> -стеклом	4-Аr16-4i	аргон	0,71
однокамерный с <i>k</i> -стеклом	4k-Кr-4k	криптон	0,84
двухкамерный	4-10-4-10-4	воздух	0,5
двухкамерный	4-16-4-16-4	«	0,56
двухкамерный с <i>i</i> -стеклом	4-12-4-12-4i	«	0,822
двухкамерный с <i>i</i> -стеклом	4-Аr12-4-Аr12-4i	аргон	0,88
двухкамерный с двумя <i>i</i> -стеклами	4i-Аr12-4-Аr12-4i	«	1,18

Традиционным материалом изготовления оконных коробок и створок является дерево, преимущественно сосна. Древесина сосны имеет достаточно низкий коэффициент теплопроводности. Однако для получения термического сопротивления этих деталей окна порядка $1 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ толщина коробки и створки должна составлять около 180 мм, что, естественно, неприемлемо с точки зрения габаритов, массы и стоимости такого окна. При традиционных же размерах поперечного сечения оконной коробки и створки (около 80 мм) их термическое сопротивление составляет $0,5\text{--}0,6 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Наличие такого материала, как пенополиуретан, физические характеристики которого (плотность и прочность) могут варьироваться в широких пределах при сохранении низкого значения коэффициента теплопроводности ($\lambda = + 0,03 - 0,05 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), делает естественным использование его в качестве элемента деталей окна. С учетом того, что пенополиуретан легко обрабатывается и хорошо склеивается с древесиной, технология изготовления деталей окна с использованием его несильно отличается от процесса изготовления деревянного окна. Кроме того, если в качестве конструкции заготовки для изготовления деталей окна принята конструкция, в которой брусок из пенополиуретана заменяет средний деревянный брусок в склеиваемой трехслойной заготовке, то и внешне окно из комбинированного материала «дерево-пенополиуретан-дерево» будет иметь вид деревянного.

Для сравнения теплофизических характеристик окна из комбинированного материала «дерево-пенополиуретан-дерево» с характеристиками обычного окна из дерева с помощью компьютерной программы расчета температурных полей в сечении различных конструкций был

проведен расчет распределения температуры в сечении окон обоих типов и определены их термические сопротивления.

На рис. 1, *а* показано сечение окна с деревянной коробкой, створкой и двухкамерным стеклопакетом, заполненным аргоном, при отсутствии селективного напыления. Расчетное значение термического сопротивления такого окна получилось равным $0,602 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

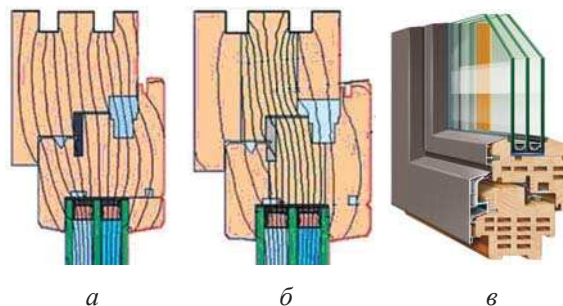


Рис. 1. Варианты оконных блоков:
а – деревянный; *б* – окно из комбинированного материала; *в* – из пустотного бруса

На рис. 1, *б* показано окно с коробкой и створкой той же формы, но состоящих из комбинированного материала «дерево-пенополиуретан-дерево». На внутреннюю поверхность одного из стекол двухкамерного стеклопакета, заполненного аргоном, моделировалось нанесение селективного напыления с коэффициентом отражения в инфракрасной области равным 0,9. Значение термического сопротивления такого окна по расчету составило $1,014 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

На основе результатов расчетов была разработана конструкция оконного блока. Изделия были выпущены ОАО «Барановичдрев», по существующей на заводе технологии изготовлены

экспериментальные образцы окон ОЗО-9-9 СП-ПОУ и ОДП/ПДЮ 15-13,5 П/О СП из комбинированного материала «дерево-пенополиуретан-дерево». Пенополиуретан был изготовлен в НИИ ПФП им. Севченко БГУ, в котором имеется отработанная технология и налажено производство пенополиуретана с заданными физическими характеристиками (плотностью, теплопроводностью, механической прочностью и т. п.). При остеклении был использован двухкамерный стеклопакет, заполненный аргоном. Для окна ОЗО-9-9 СП-ПОУ на одну из внутренних поверхностей стеклопакета было нанесено напыление с коэффициентом отражения 0,9. В стеклопакете окна ОДП/ПДЮ 15-13,5 П/О СП напыление было нанесено на две внутренние поверхности стекол.

При проведении теплотехнических испытаний образцов экспериментальных окон ИПУ ОАО «Стройкомплекс» по плотности теплового потока получены следующие результаты: термическое сопротивление коробки – $1,592 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$; термическое сопротивление створки – $1,03 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$; остекления – $0,88 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для окна ОЗО-9-9 СП-ПОУ и $1,195 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для окна ОДП/ПДЮ 15-13,5 П/О СП.

Приведенное сопротивление теплопередаче этих окон составило соответственно $1,08 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ и $1,19 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Различие в значениях приведенного сопротивления теплопередаче обусловлено разным соотношением площадей прозрачной и непрозрачной части данных окон.

Результаты проведенных измерений хорошо согласуются с расчетными, что подтверждает правильность расчетов и возможность принятия методики расчета за основу при конструировании новых окон. Окна из комбинированного материала «дерево-пенополиуретан-дерево» получаются более дорогими, чем полностью деревянные, так как стоимость пенополиуретана примерно в два раза выше стоимости древесины. Однако с учетом прироста термического сопротивления окна из комбинированного материала, приведенные затраты производства таких окон на единицу термического сопротивления становятся ниже аналогичных затрат на производство деревянных окон.

Но не все так хорошо на практике получается, как задумано. За вспененный полиуретан не держится краска, и окна быстро теряют товарный вид. Угловые соединения, через которые проходит слой того же пенополиуретана, не выдерживают испытаний. Поэтому пришлось в угловых соединениях удалять из комбинированного бруса пенополиуретан и заменять его деревянной вставкой, представляющей собой фактически мостик холода. При этом в углах наряду с клеевым соединением деревян-

ных элементов на всякий случай использовалось нагельное крепление. Таким образом, указанное усиление угловых соединений серьезно замедляет процесс изготовления окна. Крепежные элементы, которые фиксируют поворотноткидной механизм, частично попадают в пенополиуретан, и он от этого крошится. Для массового выпуска эти изделия пока не годятся ввиду сложной технологии изготовления и невысокой долговечности.

Энергосбережение в строительстве стало основной темой строительной выставки ВАУ 2009. Следуя общей тенденции, фирма BAYERWALD [2] разработала новое решение в конструктивных элементах оконного блока (рис. 1, в).

Новаторская технология теплоизолирующих камер поднимает на новый уровень энергосбережение в оконной индустрии. Описание конструкции: конструктив оконного блока (4 ламели, переклеенные в противоположных направлениях волокон); ширина деревянного профиля 90 мм; общая ширина профиля 97 мм; двухкамерный стеклопакет; три высокоэластичных уплотнителя; троекратное нанесение краски с промежуточной сушкой слоев на каждую деталь перед сборкой оконного блока; 11-точечная фурнитура запирающая в стандартной комплектации.

Повышение термического сопротивления коробки и створки в конструкции (рис. 2) происходит за счет пустот в брус, заполненных воздухом, коэффициент теплопроводности которого ниже, чем у древесины.

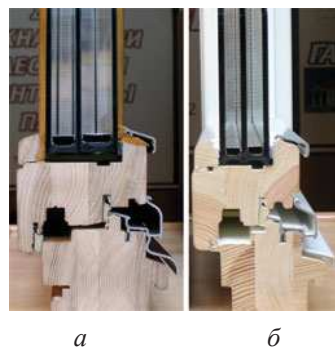


Рис. 2. Конструкция оконного профиля:
а – четырехслойная; б – трехслойная

В настоящее время на белорусском рынке производители деревянных окон предлагают изделия из трехслойного клееного бруса с шириной профиля от 68 до 78 мм. Изготовление окон с меньшей шириной профиля не имеет смысла, так как такие конструкции слишком холодные для нашего климата. И даже стандартные по ширине окна (68×78 и 78×78 мм) обладают низкими теплосберегающими свойствами и не отвечают требованиям, предъявляемым сегодня к энергосберегающим конструкциям.

Варианты решений повышения коэффициента термического сопротивления брусков створки и коробки окна.

1. Увеличение ширины профиля до 86 мм и более за счет склеивания бруса из четырех слоев вместо трех (рис. 2). Опыт изготовления клееных деревянных конструкций показывает, что толщина слоя детали не должна превышать 35 мм, в противном случае возрастает опасность недопустимых напряжений в клеевых соединениях. В то же время толщина слоя клееных брусков должна быть не менее 15 мм, так как толщина наружного фальца, защищающего сопряжение створок от дождя, составляет 8–12 мм, а клеевой шов должен быть скрыт от прямых атмосферных воздействий. Поэтому для оконного профиля 86×86 мм наиболее приемлемой является четырехслойная симметричная схема. Требование симметричности клееного бруса необходимо строго соблюдать, и поэтому толщина наружных слоев должна быть одинаковой. Два средних слоя могут быть любой толщины, но не более 35 мм. Немаловажно, что четырехслойная структура клееного бруса позволяет исключить влияние неоднородности древесины на формоустойчивость изделия.

2. Использование качественного, хорошо высушенного материала и склеивание оконного бруса из ламелей с углом наклона годичных колец к пласти 45–90°. Ввиду того, что радиальная усушка древесины в 1,5–2 раза меньше тангенциальной, толщина ламелей, бруса и деталей окна практически не будет изменяться при усушке и разбухании. Это гарантирует плотность примыкания элементов окна и лучшие теплоизоляционные характеристики изделия. Наличие сучков в деталях снижает сопротивление теплопередаче, что должно учитываться в производстве и использовании бруса.

3. Применение клея для соединения ламелей, обладающего высокими теплоизоляционными свойствами.

4. Специальная термообработка древесины, повышающая коэффициент термического сопротивления основного конструкционного материала деревянных окон.

5. Выбор рациональной конструкции окон (одинарные, отдельные двух- или трехстворчатые, спаренные и отдельно-спаренные, рис. 3). Самые удобные и экономичные – одинарные, но они имеют узкие коробки, которые создают проблемы тепловых мостиков и теплопотерь через стены в зоне монтажного шва. Двухстворчатое окно сложнее открывать, оно пропускает меньше света. Спаренные створки, решая одни, создают другие проблемы.

Любую из конструкций окон можно довести до требуемого сопротивления теплопередаче, но

у каждого есть свои особенности и недостатки, поэтому применить можно любой из них и внедрить в производство, а уже потребитель пусть решает, что ему больше всего подходит.

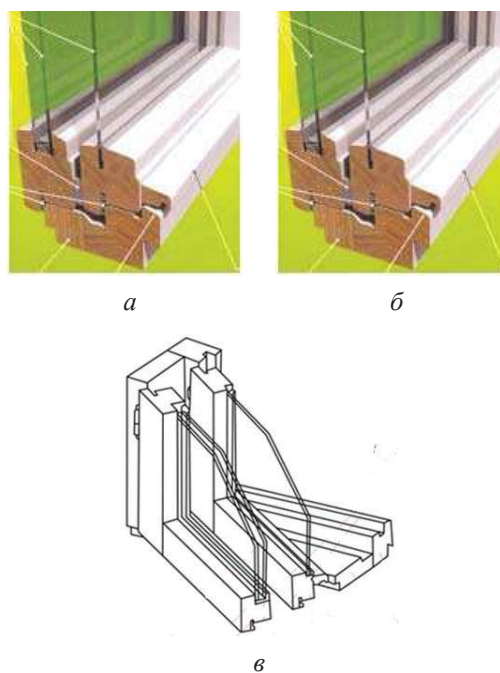


Рис. 3. Варианты конструкций окон:
а – спаренные створки (шведский тип);
б – одинарная створка (немецкий тип);
в – отдельные створки (финский тип)

Наиболее просто достичь требуемого сопротивления теплопередаче в финском типе окон, так как ширина коробки и створок получается большей, а вместо стекла в наружной раме можно установить стеклопакет, воздушная прослойка между створками также является хорошим теплоизолятором.

Заключение. Рассмотренные варианты решения задач повышения показателей энергоэффективности окон и достижения принятого нормативного значения термического сопротивления $1 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ требуют проведения соответствующих исследований на основе компьютерного моделирования и натурного эксперимента, комплексного анализа и технико-экономической оценки конструкций, применяемых материалов и комплектующих изделий.

Литература

1. Энергосберегающие окна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.variant.by. – Дата доступа: 05.03.2010.

2. Энергосберегающий профиль от BAYERWALD [Электронный ресурс]. – 20.01.2009. – Режим доступа: www.bayerwaldstudio.ru. – Дата доступа: 05.03.2010.

Поступила 01.04.2010