

И.Н.Бабий, к.т.н., доцент кафедры ТСП, ОГАСА, г. Одесса

Ю.П. Марусич, магистрант, ОГАСА, г. Одесса

А.Л. Куницкая, магистрант, ОГАСА, г. Одесса

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УСТРОЙСТВА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности устройства светопрозрачных конструкций. Обобщены некоторые современные материалы светопрозрачных конструкций. Наибольшее внимание уделяется светопрозрачным конструкциям с применением стеклопакетов заполненных азрогелем, а так же стеклопакетамна основе энергоэффективного стекла.

Ключевые слова: светопрозрачные конструкции,стекло, стеклопакеты, энергоэффективность, азрогель, вакуум, смарт-стекло, i-стекло,k-стекло.

Постановка проблемы. Работа посвящена решению проблемы выбора, энергоэффективных светопрозрачных конструкций (низкоэмиссионные, электрохромные, вакуумные и т.д.). Для этого использовались особенности устройства светопрозрачных конструкций, а так же их достоинства и недостатки. Кроме того, были рассмотрены плюсы и минусы использования светопрозрачных конструкций в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время проблема энергосбережения стоит чрезвычайно остро во всем мире. Эта проблема касается не только остекления больших форматов, но и бытовых помещений. Как правило, через светопрозрачные конструкции (при условии применения обычного стекла) теряется 40-50% тепловой энергии. Повышение теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций в основном происходит сейчас за счёт "пассивных" приёмов (увеличение числа камер в стеклопакете и числа стёкол с селективным покрытием, использование более эффективных инертных газов, повышение толщины рамных профилей и пр.). На основе предположений авторами [1-3] новых принципов проектирования ограждающих конструкций стало возможным получать энергоэкономичные светопрозрачные конструкции, обеспечивающие как возврат значительной части тепла, так и вентилирование наружным воздухом помещений через наружные ограждения фактически без дополнительных энергетических потерь.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Представлены результаты анализа информации по различным видам эффективных оконных систем.

Цель статьи. Рассмотреть современные энергоэффективные виды светопрозрачных конструкций, а также выбрать наиболее перспективный вариант энергосберегающего стеклопакета.

Изложение основного материала. За последние 20 лет во всем мире стали активно использовать различные светопрозрачные фасады: окна, витражи и т.д. [1]. С введением новых норм к ним начали применять высокие требования по энергоэффективности. Следует особо отметить, что повышение энергоэффективности зданий и сооружений является одним

из ключевых направлений в строительстве. Постоянно разрабатываются более современные законы, принимаются новые стандарты, вводятся новые требования. Каждый год появляются более современные технологии, методы эксплуатации и другие нововведения. Например, разработка светопрозрачных пожаробезопасных конструкций на основе эпоксидных олигомеров [2] или светопрозрачных конструкции с регулируемыми тепловыми характеристиками [3].

При эксплуатации светопрозрачных конструкций (например, оконных систем) различают несколько путей потери тепла. Потери тепла через установленные в стене окна можно разделить на теплопередачу и трансмиссионные (излучательные).

К теплопередаче относится — теплопроводность самого стекла. Снизить потери тепла в этом случае можно увеличением количества стекол в оконной системе (тройное остекление). Также потери тепла, обусловленные конвекцией воздуха. Разработка и применение в последние годы современных уплотнительных материалов при установке стеклопакетов, а также использование различных вспененных материалов для герметизации мест примыкания оконных рам к стене практически решают проблему снижения таких потерь. Трансмиссионные потери (инфракрасное излучение непосредственно через стекла), которые составляют до 70% потерь тепла, возможно снизить применением энергосберегающих стекол. Таким образом, энергоэффективные свойства оконных конструкций зависят от оконного профиля и стеклопакета.

На сегодняшний день, строительная промышленность многих стран выпускает, в основном, двухстекольные окна в раздельно-спаренном исполнении или с однокамерными стеклопакетами. Сопротивление теплопередаче таких окон примерно 0,32-0,38 м² К/Вт. В ряде стран в жилых домах применяют трех- и 4-стекольные окна. Трехстекольные окна в раздельно-спаренных переплетах имеют высокие теплозащитные свойства (0,46-0,6 м² К/Вт), но при этом на 15-25% снижается светопропускание.

Поэтому для достижения необходимых значений сопротивления теплопередаче необходимо осуществить дополнительное остекление или использование энергоэффективных стекол. Энергоэффективным принято называть остекление, позволяющее эффек-

тивно регулировать энергетические потоки через оконные конструкции, задерживая тепловые инфракрасные излучения внутри здания и не пропуская извне ультрафиолетовый спектр солнечного излучения.

При использовании стеклопакетов с энергосберегающим стеклом решается проблема снижения излучательных потерь тепла через остекление, так как напыление на стеклах практически невидимо для глаза.

Наиболее распространенным видом энергоэффективного стекла является низкоэмиссионное, обладающее высокой светопропускающей способностью и прозрачностью и, в то же время, обеспечивающее достаточно высокие показатели коэффициента теплоизоляции. Такой вид энергоэффективного стекла, благодаря своей прозрачности, позволяет солнечному свету проникать внутрь помещения, а аккумулированное внутри помещения тепло и тепловую энергию от нагревательных элементов отражать внутрь помещения. Принцип создания такого энергосберегающего стеклопакета заключается в нанесении твердого или мягкого покрытия на поверхность обычного оконного (флоат) стекла методом магнитного напыления. Прозрачность такого стекла к видимому свету практически не изменяется, так как напыление имеет очень тонкий слой. Изготовленный по такой технологии энергосберегающий стеклопакет с твердым (k-стекло) или мягким (i-стекло) напылением, работает как своеобразный тепловой клапан — пропускает более 75% видимого света, при этом отражает более 70% теплового излучения обратно в помещение. Летом такое покрытие отражает тепловую (инфракрасную) часть солнечного излучения. В результате, в помещении зимой становится теплее, а летом прохладнее, что позволяет снизить потребление энергии, как на отопление, так и на кондиционирование.

Первым шагом в выпуске энергосберегающего стекла явилось производство k-стекла. Для придания флоат-стеклу теплосберегающих свойств непосредственно при изготовлении, на его поверхности методом

химической реакции при высокой температуре (метод пиролиза) создается тонкий слой из окислов металлов InSnO_2 , который является прозрачным, и в то же время обладает электропроводностью. Величина излучательной способности k-стекла обычно имеет значение, около, 0,2. Таким образом, преимущества k-стекла очевидны: k-стекло (Low-E) улучшает теплоизоляцию, существенно сокращает потери тепла, снижает затраты на отопление, уменьшает вероятность конденсации влаги на поверхностях стекла, предусматривает возможность остекления вместе с солнцезащитным стеклом. k-стекло обладает высокой светопрозрачностью и визуально практически ничем не отличается от обычного прозрачного стекла. Покрытие k-стекла пропускает солнечную энергию в коротковолновом диапазоне в помещение, но не пропускает тепловое излучение в длинноволновом диапазоне, например, от приборов и систем отопления [4].

Следующим технологическим решением в изготовлении энергосберегающих стекол стало появление i-стекла, по своим характеристикам превосходящее вышеописанное k-стекло в 1,5 раза. Отличия между i-стеклом и k-стеклом заключаются как в технологии производства, так и в значении коэффициента излучательной способности. Получение i-стекла предполагает нанесение на его поверхность оптического низкоэмиссионного покрытия на основе окислов металлов с использованием высоковакуумного производственного оборудования, оснащенного системой магнетронного распыления. Низкоэмиссионное покрытие i-стекла обладает великолепной светопропускающей способностью и еще более низким ($E=0,04$) коэффициентом излучательной способности в сравнении с k-стеклом.

Применение стеклопакетов с i-стеклом в составе позволяет не только добиться снижения энергозатрат, но и заметно повысить комфорт в помещении. Различия между k-стеклом и i-стеклом приведены в таблице [4].

Таблица. Сравнение стекла с "жестким" и "мягким" покрытием[4]

"Жесткое" покрытие	"Мягкое" покрытие
Технические характеристики	
Хорошие теплоизолирующие свойства ($K = 1.9 - 1.6$)	Отличные теплоизолирующие свойства ($K = 1.3 - 1.1$)
Отличная способность пропускания солнечной тепловой энергии (SF 70)	Хорошая способность пропускания солнечной тепловой энергии (SF 62)
Обработка	
Просто в обработке (как обычное флоат-стекло)	Требует осторожности в обработке
При монтаже в стеклопакет не требует очистки края листа от покрытия	Очистка края листа от покрытия необходима при монтаже в стеклопакет (для сцепления с герметиком)
Неограниченный срок хранения	Ограниченный срок хранения
Закаливание	
Безусловно	Возможно

Особенностью такого стекла является отражение теплового потока в сторону источника тепловых волн (летом — на улицу, зимой — в квартиру). Необходимо отметить, что при наружной температуре -26°C и внутренней +20°C, на внутренней поверхности обычного стеклопакета температура будет +5°C, а i-стекла — +14°C. По утверждению производителей инновационное стекло обеспечит экономию 230 кВт за отопительный период с одного стеклопакета [5]. К достоинствам низкоэмиссионных стекол можно отнести:

- однокамерный стеклопакет с k-стеклом или i-стеклом обладает большим эффектом энергосбережения, чем двухкамерный стеклопакет с обычными стеклами;

- однокамерный стеклопакет с энергосберегающим стеклом легче двухкамерного на 10 кг/м² (при толщине стекла — 4 мм);

- однокамерный стеклопакет с низкоэмиссионным стеклом имеет большее светопропускание, чем двухкамерный с обычными стеклами.

Кроме того, для снижения теплопотерь через оконные конструкции, возможно размещение экрана из непрозрачных фрагментов с наружной стороны окна, что за счет теплозащитных свойств материала и дополнительной воздушной прослойки снижают отток тепла при закрытии в ночное время [6].

Новым поколением теплоотражающих и многофункциональных стекол является электрохромное смарт-стекло ("умное"-стекло). Это стекло с изменяющимися оптическими свойствами, которое изменяет свою светопрозрачность под воздействием электрического тока и является продуктом высоких технологий на основе жидких кристаллов. Технология, используемая для изготовления "умного" стекла, позволяет перевести стекло из прозрачного состояния в полупрозрачное с белым оттенком. При нажатии на клавишу выключателя или пульта дистанционного управления, электрический ток 220В, преобразуясь в 2В, подводится к электрохромному стеклу. Под его воздействием активный полимерный слой, расположенный внутри триплекса, приобретает окраску синего оттенка, сохраняя прозрачность. При выключении электрохромное стекло возвращается в исходное состояние. Активный полимерный слой — это основная составляющая изобретения. В его структуре содержится комплекс органических соединений, тщательно подобранных для обеспечения наилучших характеристик продуктов. Все соединения нетоксичны и безопасны для человека и домашних животных. Зимой такие стёкла позволяют сохранить в 4 раза больше тепла, чем это могут сделать стандартные стеклопакеты. Достичь этого помогают хорошие термосберегающие свойства стекла [7]. Смарт-стекло позволяет уменьшить потери тепла, сократить расходы на освещение, служат альтернативой жалюзи и механическим затеняющим экранам. В прозрачном состоянии жидкокристаллическое или электрохимическое смарт-стекло не пропускает ультрафиолетовое излучение. Но основными недостатками смарт стекла — это относительно высокая стоимость, необходимость использования электрического напряжения, скорость переключения между состояниями или меньшая прозрачность по сравнению с обычным стеклом. Следует отметить, что

смарт-стекло последнего поколения по сравнению с предыдущими может управляться безопасным низковольтным питанием от 12 до 36 Вольт.

Перспективным направлением является применение стеклопакетов, так называемым, техническим вакуумом, что позволяет создать легкие и теплозащитные оконные конструкции. Чтобы улучшить технические характеристики стеклопакетов, некоторые производители вместо обычного сухого воздуха используют лёгкие газы, которые являются инертными. Применяя такие газы, как аргон, ксенон, криптон, производители повышают способность стеклопакетов удерживать тепло в помещении и препятствовать проникновению посторонних звуков. Этот инертный газ характеризуется высоким сопротивлением теплопередаче и позволяет сэкономить еще 10-15% тепла дополнительно. Поэтому для обеспечения наилучшей теплоизоляции оптимально подходит стеклопакет с энергосберегающим покрытием и внутренним заполнением инертным газом. При этом следует отметить, что в производственных условиях проверить наличие газа в межстекольном пространстве, практически, не представляется возможным.

Также достигать таких результатов, а порой и более эффективных, можно, если применять в производстве стеклопакетов, такие стёкла, на поверхность которых нанесено специальное энергосберегающее покрытие [6].

Новая технология в сфере остекления светопрозрачных конструкций — это использование стеклопакетов с электрообогреваемым стеклом. Стеклопакеты изготавливаются из закаленного многослойного стекла. Их электропроводимость обеспечивается за счет покрытия одного из слоев стекла специальной пленкой или металлической сеткой с электродами, после чего данное стекло внедряется в стеклопакет. Температура нагрева изделия и время включения, зависит от температуры воздуха и времени года. Стеклопакет с электронагревом может являться дополнительным источником тепла, который может заменить теплый пол и даже батарею в случае утепления балкона или лоджии [7].

Таким образом, использование современных стеклопакетов является результатом использования достижений инновационных технологий. Это обеспечивает новые возможности повышения архитектурно-художественной выразительности светопрозрачных фасадных систем и улучшения их эксплуатационных качеств и служит успешному применению данных решений в архитектуре многофункциональных зданий.

Выводы. В статье рассмотрена классификация светопрозрачных конструкций в зависимости от варианта исполнения и конструктивных решений. К основным способам повышения энергосбережения относится увеличение количества камер, замена стекол на более технологичные, улучшение качества монтажа. Однако наиболее перспективным является применение современных энергосберегающих стекол низкоэмиссионных, электрохромных и стеклопакетов на их основе. Принятие решений по повышению энергоэффективности необходимо сопровождать экономической оценкой целесообразности использования улучшенных материалов и конструкций.

Литература

1. Фаренюк Г.Г. Температурный режим алюминиевых стоечно-ригельных узлов фасадных систем / Фаренюк Г.Г., Фаренюк Е.Г. // Оконные технологии. — К., 2002. — № 13. — С.66-70.
2. Лещенко А.С. Разработка светопрозрачных пожаробезопасных конструкций и состава на основе эпоксидных олигомеров / Лещенко А.С., Бурмистров И.Н., Панова Л.Г. // Известия МГТУ "МАМИ" -2013. №1(15).т.4.-С.107-112.
3. Низовцев М.И. Светопрозрачные конструкции с регулируемыми тепловыми характеристиками /Низовцев М.И., Терехов В.И. // Ползуновский вестник. 2011. №1.- С.60-76.
4. Куренкова А.Ю. Энергоэффективное остекление: какой путь выберет / Куренкова А.Ю.// Энергосовет. 2012. №4(23).-С.43-47.
5. Голованова Л.А. Энергоэффективные строительные конструкции и технологии / Голованова Л.А., Блюм Е.Д. // Ученые заметки ТОГУ. — 2014. — Том 5. — № 4. — С.71-77.
6. Ватин Н.И. Повышение энергоэффективности зданий детских садов / Ватин Н.И., Немова Д.В. // Интернет-журнал "Строительство уникальных зданий и сооружений". 2012. №3.-С.52-76.
7. Vatin N., Petrichenko M., Nemova D., Staritsyna A., Tarasova D. Renovation of educational buildings to increase energy efficiency. Applied Mechanics and Materials Vols. 2014. No. 633-634. pp. 1023-1028.

Reference

1. Faryenyuk G.G. Temperature regime of aluminum rack-and-link units of facade systems / Faryenyuk GG, Faryenyuk EG // Window technologies. — K., 2002. — No. 13. — P.P.66-70.
2. Leschenko AS, Burmistrov IN, Panova LG Development of translucent fireproof structures and composition based on epoxy oligomers // Izvestiya MSTU "MA MI". 2013. № 1 (15). vol.4. Pp. 107-112.
3. Nizovtsev MI, Terekhov V.I. Translucent structures with adjustable thermal characteristics // Polzunovskii vestnik. 2011. № 1. Pp. 60-76.
4. Kurenkova A.Yu. Energy-efficient glazing: which way will choose // Energo soviet. 2012. № 4 (23). Pp. 43-47.
5. Golovanova LA, Blum E.D. Energy-efficient building structures and technologies // Scientists notes of the TOU. — 2014. — Volume 5. — No. 4. — Pp. 71-77.
6. Vatin N.I., Nemova D.V. Increase of energy efficiency of buildings of kindergartens // Internet-journal "Construction of unique buildings and constructions". 2012. № 3. Pp. 52-76.
7. Vatin N., Petrichenko M., Nemova D., Staritsyna A., Tarasova D. Renovation of educational buildings to increase energy efficiency. Applied Mechanics and Materials Vols. 2014. No. 633-634. pp. 1023-1028.

И.Н.Бабій, Ю.П. Марусич, А.Л. Куницька, ОГАСА, м. Одеса

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЛАШТУВАННЯ СВІТОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. У статті розглянуто особливості влаштування світлопрозорих конструкцій. Узагальнено деякі сучасні матеріали світлопрозорих конструкцій. Найбільша увага приділяється світлопрозорим конструкціям із застосуванням склопакетів з заповненням аерогелем, а також склопакетам на основі енергоефективного скла.

Ключові слова: світлопрозорі конструкції, скло, склопакети, енергоефективність, аергель, вакуум, смарт-скло, і-скло, k-скло.

Y.N. Babyj, Yu.P. Marusych, A.L. Kunyczkaya

ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE DEVICE OF LIGHT-TRANSFER DESIGNS

Abstract. In the article features of the device of translucent constructions are considered. Some modern materials are translucent. The most attention is paid to translucent structures with the use of insulating glass from airgel, as well as to insulating glass from energy-efficient glass.

Key words: translucent structures, glass, double-glazed windows, energy efficiency, airgel, vacuum, smart glass, I-glass, K-glass.