

УДК 721.01

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

Д.В. Жайворонок,

магистрант, ОГАСА, г. Одесса

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭФФЕКТИВНЫХ ОКОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье рассмотрено актуальность повышения энергоэффективности зданий. Обобщены некоторые современные подходы к снижению теплопотерь через светопрозрачные конструкции. Наибольшее внимание уделяется светопрозрачным конструкциям с применением стеклопакетов из аэрогеля, а так же стеклопакетам с низкоэмиссионными стеклами. Это направление является наиболее перспективным и актуальным на данном этапе.

Ключевые слова: стекло, стеклопакеты, энергоэффективность, энергосбережение, аэрогель, И-стекло, К-стекло.

Постановка проблемы. Работа посвящена решению проблемы выбора, энергоэффективных светопрозрачных конструкций.

Анализ последних исследований и публикаций. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений является одним из ключевых направлений в строительстве. Постоянно разрабатываются современные законы, принимаются новые стандарты, вводятся новые требования. Известно, что через окна происходят значительные потери. Раньше проблема с энергосбережением решалась увеличением числа камер в стеклопакете. Настоящая революция произошла с появлением низкоэмиссионного стекла: такое стекло позволяет сократить теплопотери через окна вдвое. Государственные строительные нормы [1] рекомендуют использовать в строительстве только энергосберегающие стеклопакеты с низкоэмиссионным стеклом. Экономия тепловой энергии, в конечном счете, является наиболее перспективной сферой энергосбережения. О новых разработках и методиках, направленных на повышение энергоэффективности оконных систем пишут в своих работах многие инженеры и ученые. Рассматриваются вопросы нормирования и снижения энергопотребления зданий, приводится опыт строительства зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций, а также анализируются теплотехнические качества различных оконных систем [2,3].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Представлены результаты анализа информации по различным видам эффективных оконных систем, которые позволили выбрать эффективные конструктивно-технологические решения при их устройстве.

Цель статьи. Главной целью этой работы является установление и решение актуальных проблем и перспективных направлений исследований в современном строительстве энергоэффективных светопрозрачных конструкций. Выбрать наиболее перспективный вариант конструктивно-технологического решения энергосберегающего стеклопакета.

Изложение основного материала. В настоящее время проблема энергосбережения стоит чрезвычайно остро во всем мире. Эта проблема касается не только остекления больших форматов, но и бытовых помещений: квартир, коттеджей, детских учреждений и т.д. Как правило, через светопрозрачные конструкции (при условии применения обычного стекла) теряется 40-50% тепловой энергии. Главная задача современного стекла — сохранить как можно больше тепла. Снижение потерь тепла в зданиях — это наиболее эффективное мероприятие по уменьшению расходов энергии [4].

Рассмотрим само окно — профиль, стеклопакет, фурнитура. Фурнитура необходима для плотного примыкания створки к раме. Современный ПВХ профиль — это наиболее теплая конструкция, сопротивление теплопередачи профиля составляет в среднем 1,1-1,5 Вт/м²·°С. Остается стекло, его площадь составляет ~ 75% от площади окна, а сопротивление теплопередаче для стекла 4 мм — 5 Вт/м²·°С.

В настоящее время при установке новых пластиковых окон, почти всегда используется одно- или двухкамерный стеклопакет. Но даже при использовании стеклопакетов теплопередача все равно остается высокой — при толщине стеклопакета 24 мм — 3,1 Вт/м²·°С, 32 мм — 2,13 Вт/м²·°С. В стеклопакетах есть возможность повысить теплозащитные свойства за счет тепло- и энергосберегающего стекла ~ до 1,1 Вт/м²·°С [4].

За прошедшие годы в области производства стекла появились новые разработки, достижения, а также высокоэффективные способы повышения теплоизоляции здания. Одним из таких способов является применение стеклопакетов с светопрозрачной теплоизоляцией из аэрогеля.

Аэрогели (от лат. aëro — воздух и gelatus — замороженный) — класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной. Данное вещество обладает низкой плотностью, всего в полтора раза превосходящей плотность воздуха и рядом других уникальных каче-

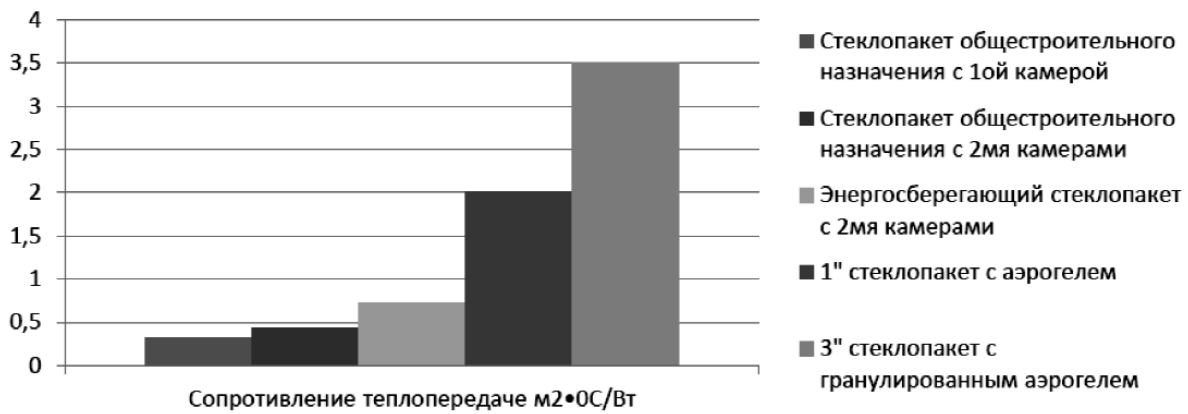


Рис.1. Гистограмма сравнения сопротивления теплопередачи различных стеклопакетов

ств: твердостью, прозрачностью, жаропрочностью, низкой теплопроводностью и отсутствием водопоглощения.

Структура аэрогеля представляет собой древовидную сеть, объединяющую в однородные группы (кластеры) частицы размером от 2 до 5 нанометров и пор, которые заполнены воздухом, размером до 100 нанометров. Аэрогели относятся к классу мезопористых материалов, в которых полости занимают не менее 50 % объема. На ощупь этот материал напоминает легкую, но твердую пену. При сильной нагрузке аэрогель трескается, но в целом это весьма прочный материал — образец аэрогеля может выдержать нагрузку в 2000 раз больше собственного веса. Аэрогель содержит в своих порах газы, которые являются хорошим "транспортным средством" для передачи тепла. Это вещество является самым легким твердым материалом, он один из немногих существующих материалов, который является одновременно и прозрачным и пористым[5].

Кварцевые аэрогели наиболее распространены, они имеют самую маленькую плотность из твердых тел — 1,9 кг/м³, это в 500 раз меньше плотности воды и всего в 1,5 раза больше плотности воздуха.

Аэрогель диоксида кремния состоит из небольших сфер аморфного кремнезема, соединенного между собой в цепочки, образующие трехмерную сетку, поры которой заполнены воздухом. Аэрогель состоит из более чем на 96% из воздуха и имеет поры (средний размер от 10 до 20 нм) меньше чем средняя длина свободного пробега молекул воздуха. Остальные 4% — тонкая матрица SiO₂ — основного сырья для изготовления стекла. Аэрогель имеет удельную плотность 3 кг/м³ — только в три раза больше, чем у воздуха, и в 1000 раз меньше, чем у стекла. Типичный аэрогель кварца имеет полную теплопроводность около 0,017 Вт/м·°С в воздухе при нормальном атмосферном давлении, меньшей, чем теплопроводность воздуха 0,024 Вт/м·°С [5].

Самым доступным и легким способом повышения сопротивления теплопередаче стеклопакетов с аэрогелем является создание небольшого вакуума (около 90%). Это небольшой вакуум, который можно просто получить и поддерживать. При этом можно достичь значения теплопроводности аэрогеля кварца около 0,008 Вт/м²·°С. Окно с таким аэрогелем кварца толщиной один дюйм (25,4 мм) может иметь сопротивление теплопередаче около 2,0 м²·°С/Вт — это показано

на рис. 1. Так же возможно применение гранулированного аэрогеля в качестве заполнения межстекольного пространства стеклопакета[6].

Использование стеклопакетов с межстекольным заполнением из аэрогеля является альтернативой классическим стеклопакетам. При увеличении стоимости окна в три раза, его сопротивление теплопередаче возрастает вплоть до 10 раз, что снижает затраты на отопление. А при частичной замене стен данными панелями уменьшается потребность в искусственном освещении в течение дня, что так же снижает затраты на электроснабжение[6].

Говоря об энергосберегающих пластиковых окнах, для начала стоит сказать несколько слов непосредственно об энергосберегающем стекле. По технологии производства и эффективности такое стекло может быть двух видов, а именно И-стекло и К-стекло.

Придание стеклу энергосберегающих свойств связано с нанесением на его поверхность низкоэмиссионных оптических покрытий, а само стекло получило название низкоэмиссионного. Стекло, обладает большей по сравнению с металлами излучательной способностью (эмиссивитетом) E. Именно эмиссивитет поверхности (E) определяет излучательную способность (у обычного стекла E составляет ~ 0,83). Чем меньше значение E имеет стекло, тем лучше его энергосберегающие свойства, а следовательно и способность "отражать" обратно в помещении тепловое излучение. Для металлов E = 0,02-0,04[7].

Методом магнетронного напыления создается однослойное или многослойное (современные стекла

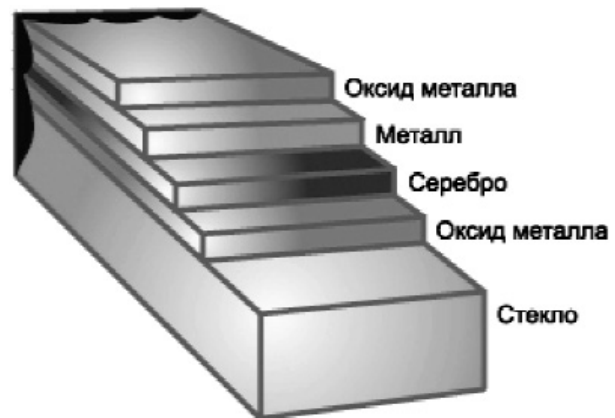


Рис.2. Схема i-стекла[8]

содержат около 8 слоев) покрытие, которое обеспечивает излучательную способность до 0,04. На рис. 2 показано поверхность стекла, на которое наносится полупрозрачный слой металлов (преимущественно серебра) с системой просветляющих покрытий различных окислов (BiO₂, TiO₂, SiO₂). При этом стекло с оптическим покрытием, имеющим значение эмиссивитета E = 0,04, отражает обратно в помещение свыше 90% тепловой энергии уходящей через окно.

Это покрытие обеспечивает прохождение в помещение коротковолнового, солнечного излучения, но препятствует выходу из помещения длинноволнового теплового излучения. Данная технология достаточно сложна, поскольку позволяет подбором толщины просветляющих покрытий скорректировать светопропускание и довести его до показателей близких к прозрачным стеклам 75-85%.

Принцип работы низкоэмиссионного стекла заключается в следующем. В состав стеклопакета устанавливается одно стекло с низкоэмиссионными свойствами. Тепло из помещения, проникая в массу низкоэмиссионного стекла и достигая покрытия, не может выходить наружу, поскольку излучательная способность поверхности низкоэмиссионного стекла низкая. Тепло вынужденно "вернуться" обратно в помещение. С другой стороны (с улицы) хорошо проходит солнечное коротковолновое излучение в видимом диапазоне (длиной волн от 380 до 780 нм), но отражает ~ 30% длинноволнового теплового излучения в инфракрасном диапазоне (от 3 000 до 50 000 нм). Таким образом, солнечная энергия почти беспрепятственно проникает в помещение [7].

В настоящее время представлено в основном так называемое теплосберегающее К-стекло (с "твердым" однослойным низкоэмиссионным покрытием, имеющим излучательную способность E ~ 0,1). Это стекло можно отнести к энергосберегающему стеклу первого поколения, которое позволяет уменьшить потери тепла по сравнению со стеклопакетами из обычного стекла ~ в 2 раза. В последнее время на рынках Западной Европы доля продажи К-стекла резко уменьшилась. Например, в Германии он составляет около 7-10%. Аналогичная ситуация наблю-

дается и в США, где в основном используется I-стекло (стекло с "мягким" низкоэмиссионным многослойным покрытием, имеющим излучательную способность E ~ 0,04).

Стеклопакет с I-стеклом имеет значительный выигрыш и в отношении комфортности в помещении. Например, при наружной температуре - 26 °C и температуре в помещении +20°C, у обычного стеклопакета температура стекла на внутренней поверхности внутри помещения будет +5 °C, у стеклопакета с К-стеклом +11 °C, а у стеклопакета с I-стеклом +16 °C. Зона окна вблизи обычного остекления приводит к так называемым "сквознякам", связанным с конвекцией холодного воздуха вблизи окна. Следовательно, использование стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом увеличивает полезную жилую площадь и не дает влаге осажаться на стеклах, тем самым исключает появление конденсата.

Применение стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом позволяет значительно снизить расходы энергоносителей.

Во-первых, i-стекло отражает длинноволновые тепловые лучи в сторону их излучателя (то есть зимой в сторону квартиры, где работают отопительные приборы, а летом в сторону улицы, где находятся нагретые солнцем камни, асфальт и т.д.), что значительно снижает расходы на отопление зимой и на кондиционирование летом. Иными словами, покрытие оставляет тепло там, где его больше. Теплоизолирующая способность стеклопакета с I-стеклом значительно выше по сравнению с двухкамерным стеклопакетом. Такие параметры приведены в таблице 1 [9].

Таким образом, в любой климатической зоне тепловой комфорт в помещении достигается использованием стеклопакетов с энергосберегающими стеклами.

Во-вторых, вес такого стеклопакета на 10 кг на 1м²стеклопакета ниже по сравнению с двухкамерным, что значительно снижает нагрузку на фурнитуру створки окна и увеличивает срок ее эксплуатации [8].

В-третьих, так как температура на поверхности стеклопакета с I-стеклом выше, чем на поверхности обычного стекла, а также это уменьшает вероятность выпадения конденсата на стекле. Кроме того, это сте-

Таблица 1 – Сравнительные параметры стеклопакетов по теплоизоляции

Тип стеклопакета	i-стекло4i-16-4	Ст/п 4-10-4-10-4 М1	Ст/п 4-16-4 М1
Коэффициент теплопередачи K _{упо} DIN	1,0 Вт/ кв.м С	2,13 Вт/ кв.м С	3,1 Вт/ кв.м С
Сопrotивление теплопередачи	0,7 кв.м С /Вт	0,42 кв.м С /Вт	0,33 кв.м С /Вт
t на поверхности стекла при – 26С на улице, + 20 С в комнате	+ 16 С	+ 7,5 С	+ 5 С
Экономия условного топлива за отопительный период	850 л/год	195 л/год	—
Коэффициент экономичности остекления	1,79	1,1	—
Светопропускание	85%	80%	82%
Светоотражение	10%	3%	2%
Энергопропускание	64%	88%	91%

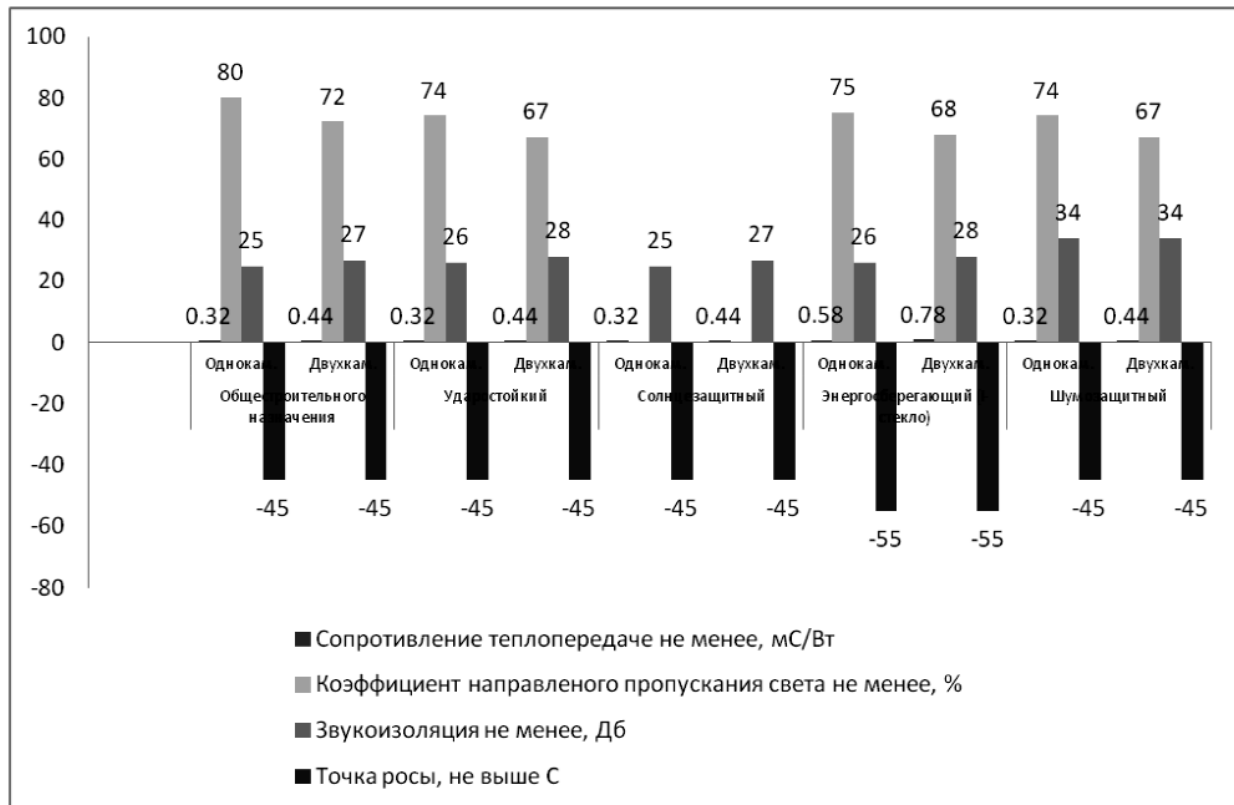


Рис. 3 Гистограмма основных физических характеристик стеклопакетов - точка росы — появление конденсата (инея) на внутренней поверхности стекла

кло препятствует выгоранию обивки и предметов интерьера. При этом прозрачность I-стекла сравнима с прозрачностью обычного стекла. Такие параметры показано на рис.3 [10].

Остекление с использованием энергосберегающего стекла позволяет успешно справиться с проблемами. Помещение защищено от жары летом и в то же время великолепно сохраняет тепло в холодную погоду — колоссальная экономия на отопительных и кондиционных системах [11]. Эффективная солнечная защита и максимальная эргономичность позволяют снизить затраты при строительстве и эксплуатации зданий. Это дает экономические и экологические преимущества для эффективного освещения помещений.

Можно сделать вывод, что однокамерный стеклопакет с i-стеклом теплее двухкамерного стеклопакета в котором используется обычное стекло.

Выводы: На данный момент времени, несмотря на все преимущества использования аэрогеля и низкоэмиссионного стекла в светопрозрачных конструкциях такая технология изготовления стеклопакетов остается дорогостоящей. Использование стеклопакетов с межстекольным заполнением из аэрогеля является альтернативой классическим стеклопакетам. А вот применение стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом позволяет значительно снизить расходы энергоносителей. Остекление с использованием энергосберегающего стекла позволяет успешно справиться с проблемами.

До сих пор вопрос о том, как снизить себестоимость производства гелей до разумной цены, чтобы повысить рентабельность и сделать его применение реальным в более широких масштабах, остается нерешенным.

Литература

1. ДБНВ.2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель".
2. Якубсон В.М. Энергоэффективность зданий и сооружений: практические шаги // Magazine of Civil Engineering. №6 2013 — С. 5-6.
3. GuoaW., QiaoaX., HuangaY., FangaM., HanbX. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone // Energy and Buildings, Volume In Press, Corrected Proof. 2012.-С. 43-53.
4. XinhongZhaoa, Congyu Mab, PingdaoGub. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel // Energy Procedia. Volume 14. 2012. Pp. 1523-1527.
5. Entropa A.G., Brouwersb H.J.H., Reindersc A.H.M.E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate // Energy and Buildings. Volume 42. Issue 5. 2010. Pp. 618-629.
6. Н. В. Емельянова. — Минск: "Медиагруппа "АРТ Престиж", 2013. — 36 с.
7. Справочник. Стекло и его практическое применение. Учебное пособие, 2010. — 150 с.
8. Aerogels Ed. J. Fricke. — Berlina.o.: Springer-Verlag, 1985.
9. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Красноярск, 2014. — 156 с.

10. Ковалев А.В., Заморов А.А. Новочеркасск. Применение стеклопакетов с использованием аэрогеля. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, 2015. – 143 с.
 11. Электронный журнал "Стекло и Бизнес" № 1 (1), 2003.

Reference

1. DBN B.2.6-31: 2006
2. Yakubson V.M. Energy efficiency of buildings and structures: practical steps // Magazine of Civil Engineering. №6 2013 – Pp.5-6.
3. Guoa W., Qiaoa X., Huanga Y., Fanga M., Hanb X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone // Energy and Buildings, Volume In Press, Corrected Proof. 2012. Pp. 43-53.
4. Xinhong Zhao, Congyu Mab, Pingdao Gub. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel // Energy Procedia. Volume 14. 2012. Pp. 1523-1527.
5. Entropa A.G., Brouwers H.J.H., Reinders A.H.M.E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate // Energy and Buildings. Volume 42. Issue 5. 2010. Pp. 618-629.
6. N. V. Emelyanova. – Minsk: "Media Group" ART Prestige", 2013. Pp. 36
7. Справочник. The glass and its practical application. Textbook, 2010 Pp. 150
8. Aerogels Ed. J. Fricke. – Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1985
9. Collection of scientific papers on the results of an international scientific and practical conference. Krasnoyarsk, 2014. Pp. 156
10. Kovalev AV, Zamorov AA Novochechassk. Use of insulating glass with airgel. South Russian State Polytechnic University (NPI) them. M.I. Platov, 2015. Pp. 143
11. Electronic Journal "Glass and Business" No. 1 (1), 2003

И.Н.Бабій, Ю.П.Марусич, А.Л.Куницька, Д.В. Жайворонок,

ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЕФЕКТИВНИХ ВІКОННИХ СИСТЕМ

Анотація. У статті розглянуто актуальність підвищення енергоефективності будівель. Узагальнено деякі сучасні підходи до зниження тепловтрат через світлопрозорі конструкції. Найбільша увага приділяється світлопрозорим конструкціям із застосуванням склопакетів з аерогелем, а також склопакетам з низькоемісійним склом. Цей напрямок є найбільш перспективним і актуальним на даному етапі.

Ключові слова: скло, склопакети, енергоефективність, енергозбереження, аерогель, I-скло, K-скло.

Y.N.Babyj, Yu.P.Marusych, A.L.Kunyczkaya, D.V. Zhajvoronok,

SELECTION AND JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF EFFECTIVE WINDOW SYSTEMS

Abstract. In the article, the relevance of improving the energy efficiency of buildings is considered. Review of some modern approaches to reduce heat loss through translucent structures. The greatest attention is paid to translucent structures with the use of double-glazed windows from airgel, as well as double-glazed windows with low-emission glass. This direction is the most promising and relevant at this stage.

Keywords: glass, double-glazed windows, energy efficiency, energy saving, airgel, I-glass, K-glass.