

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности

Е.И. Давыдова¹, П.А. Гнам², Д.С. Тарасова³

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье

УДК 624.01

Статья о новом оборудовании, материалах, технике и технологиях

История

Подана в редакцию 1 декабря 2014
Принята 24 мая 2015

Ключевые слова

светопрозрачные конструкции, светопрозрачные навесные фасады, энергоэффективность, энергосбережение, наружные ограждения, энергосбережение в зданиях

АННОТАЦИЯ

Статья содержит обзор различных видов энергоэффективных светопрозрачных конструкций (низкоэмиссионные, электрохромные, вакуумные и т.д.). Приведены особенности каждой, а так же их достоинства и недостатки. К достоинствам относятся высокий коэффициент сопротивления теплопередачи и высокая светопропускаемость. К недостаткам – дорогостоящее и трудоемкое производство. Кроме того, рассмотрены плюсы и минусы использования светопрозрачных конструкций в целом, на основании теплотехнического расчета для одного здания с использованием трех разных светопрозрачных конструкций - энергоэффективной и двух обычных (с разными сопротивлениями теплопередаче). Рассчитаны тепловые потери за счет использования энергоэффективных конструкций. Приведено экономическое сопоставление финансовых затрат на отопление в течение года.

Содержание

1.	Актуальность работы	113
2.	Обзор литературы	113
3.	Постановка цели и задачи исследования	114
4.	Виды светопрозрачных конструкций	114
5.	Низкоэмиссионные энергосберегающие стекла	115
6.	Другие виды энергоэффективных стекол	117
7.	Расчет трансмиссионных потерь	118
8.	Экономическое сопоставление затрат на отопление	122
9.	Заключение	122

1

Контактный автор:

+7 (921) 590 9426, simone-red@yandex.ru (Давыдова Евгения Ивановна, студент)

2

+7 (911) 832 9417, polina_padfoot@mail.ru (Гнам Полина Александровна, студент)

3

+7 (931) 256 4594, tarasovads@gmail.com (Тарасова Дарья Сергеевна, магистрант)

1. Актуальность работы

За последние 20 лет во всем мире стали активно использовать различные светопрозрачные навесные фасады: окна, витражи, и т.д. [1]. Здания с площадью светопрозрачных ограждающих конструкций более 50% позволяют снизить затраты тепла на отопление и освещение. Кроме того, такие здания имеют интересный и привлекательный дизайн. В последние годы в связи с ростом числа подобных сооружений, интерес к проблемам теплообмена светопрозрачных ограждающих конструкций возрос, что привело к разработке новых, с повышенными теплозащитными характеристиками.

2. Обзор литературы

Значительный вклад в изучение энергосбережения ограждающих конструкций следующие ученые: Горшков А.С., Гагарин В.Г., Козлов В.В., Ватин Н.И., Немова Д.В. и другие.

Горшков А.С. и Гладких А.А. предлагают создать целый комплекс мероприятий для уменьшения затрат энергии на отопление зданий. Данный комплекс включает применение проверенных в данных климатических условиях стройматериалов, эффективное использование инженерных систем, разработку и применение методики комплексного учета всей потребляемой энергии, снижение нормативов энергопотребления[2].

Повышение энергоэффективности зданий и сооружений является одним из ключевых направлений в строительстве. Постоянно разрабатываются более современные законы, принимаются новые стандарты, вводятся новые требования. 27 ноября 2009г. вступил в силу Федеральный закон от № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [4]. Этот закон предъявил новые требования к зданиям и сооружениям, конструктивным и инженерно-техническим решениям, технологиям, устройствам и т.д. Эти требования планируют пересматривать каждые 5 лет с целью повышения энергоэффективности. Такой подход весьма логичен: каждый год появляются более современные технологии, методы эксплуатации и другие нововведения. Например, разработка светопрозрачных пожаробезопасных конструкций на основе эпоксидных олигомеров [6] или светопрозрачных конструкции с регулируемыми тепловыми характеристиками [7].

Огнестойкие оконные системы так же рассматривают в своих работах Казиев М.М. и Дудунов А.В. и приводят результаты исследования поведения при пожаре различных видов строительного стекла [8]. На основании этих результатов они предлагают более перспективные варианты конструктивных решений для подобных конструкций.

И хотя разработка новых конструкций, методик и технологий движет строительство вперед, немаловажным остается вопрос поддержания и повышения энергоэффективности уже имеющихся зданий, сооружений и отдельных элементов. Коржнева Т.Г., Ушаков В.Я. и Овчаров А.Т. из Томского политехнического университета изучают теплопотери помещений через системы естественного освещения [10]. В своей работе они приходят к выводу, что нынешние масштабы их использования не соответствуют всем потенциальным возможностям. А Ватин Н.И. и Немова Д.В., на основе результатов энергетических обследований зданий бюджетных учреждений, приводят пример эффективного решения для повышения энергоэффективности этих зданий [11]. Кроме того, они рассматривают проблему недостаточного использования имеющихся возможностей с экономической точки зрения: проводят оценку экономически-целесообразного значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по методу приведенных затрат для выбранных климатических условий.

Климатические показатели являются важным фактором при анализе энергоэффективности тех или иных строительных конструкций. Теплотехнические характеристики могут значительно меняться даже в пределах одного города, поэтому техническим специалистам и государству необходимо уделять этому много внимания, разрабатывая новые строгие нормы и требования [14,15]. О влиянии изменения климата на окупаемость в своих работах пишет так же Самарин О.Д [21]. Он рассматривает экономическую сторону повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкции, на основании влияния изменения климата на окупаемость дополнительного утепления. И приходит к выводу, что такие мероприятия не всегда приводят к положительным результатам. С увеличением масштабов использования дорогостоящих энергоэффективных конструкций, растут так же и цены на коммунальные услуги [22]. Это дает дополнительные доводы к необоснованности чрезмерного повышения тепловой защиты.

Именно поэтому важны последовательные и разумные подходы к подобным мероприятиям. Например метод, разработанный Гагариным В.Г., предложившим более совершенную математическую

модель условий окупаемости затрат на повышение уровня тепловой защиты. В своих работах он сравнил различные экономические показатели (процентная ставка, цены на тепловую энергию) в РФ и странах ЕС и СНГ и пришел к выводу, что развитые страны имеют более выгодные условия для развития энергоэффективности [23-25].

Экономия тепловой энергии, в конечном счете, является наиболее перспективной сферой энергосбережения. О новых разработках и методиках, направленных на повышение энергоэффективности и устранение дефектов строительных конструкций (в частности - светопрозрачных) пишут в своих работах многие инженеры и ученые. Рассматриваются вопросы нормирования и снижения энергопотребления зданий, приводится опыт строительства зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций (в том числе и зарубежных), а также анализируются теплотехнические качества различных светопрозрачных конструкций [26-41].

3. Постановка цели и задачи исследования

Цель – рассмотреть существующие виды светопрозрачных конструкций, в том числе современные энергоэффективные, указать особенности их конструкции и эксплуатации. Выбрать наиболее перспективный вариант энергосберегающего стеклопакета. Сделать расчет трансмиссионных потерь с двумя стандартными стеклопакетами с различным межстекольным расстоянием и выбранным энергоэффективным. Сравнить полученные показатели тепловых потерь. Сопоставить экономические затраты на отопление с тремя светопрозрачными конструкциями. Сделать выводы о повышении энергоэффективности ограждающих конструкций.

4. Виды светопрозрачных конструкций

Светопрозрачные конструкции, как и любые другие фасадные системы, в зависимости от варианта исполнения и конструктивных решений можно разделить на типы по нескольким признакам:

- по применяемым материалам: алюминий, сталь, ПВХ;
- по теплотехническим характеристикам: холодные фасады (там, где сохранение тепла не требуется), теплые фасады (с термостатом), тепло-холодные фасадные системы (реконструкция существующих зданий);
- по несущей способности: самонесущие фасады, с несущим каркасом;
- по способу закрепления стеклопакета (стекла): стандартные, структурные, псевдоструктурные, полуструктурные;
- по вариантам заполнения проемов конструкции: с листовым стеклом, со стеклопакетами, с непрозрачными панелями и т.д.;
- по конфигурации
- по геометрии в плане
- по способу монтажа и т.д.

Однако наибольшее влияние на энергоэффективность светопрозрачных конструкций оказывает заполнение проемов конструкции. Рассмотрим подробнее эту категорию.

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

К вентиляционным относится, во-первых, теплопроводность самого стекла. Снизить потери тепла в этом случае можно увеличением количества стекол в оконной системе (тройное остекление). Во-вторых, потери тепла, обусловленные конвекцией воздуха. Разработка и применение в последние годы современных уплотнительных материалов при установке, как одинарных стекол, так и 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 площадь стекла), которые составляют до 70% потерь тепла, возможно снизить применением энергосберегающих стекол.

Таким образом, энергоэффективные свойства оконных конструкций зависят от:

- оконного профиля (количество камер, отсутствие «мостиков холода», монтажная ширина профиля, производитель);
- стеклопакета (количество камер, толщина стеклопакета, тип стекла, заполнение камер инертным газом, производитель);
- качества монтажа.

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 мК/Вт. Такие показатели едва ли удовлетворяют нормативным значениям.

В ряде стран (например, Швеции) в жилых домах применяют трех- и 4-стекольные окна. Трехстекольные окна в раздельно-спаренных переплетах имеют высокие теплозащитные свойства (0,46-0,6 мК/Вт), но при этом на 15-25% снижается светопропускание. Поэтому для обеспечения требуемой освещенности необходимо увеличивать площадь окон, что в свою очередь снижает теплоизолирующий эффект тройного остекления.

И хотя большинство серьезных компаний, изготавливающих светопрозрачные конструкции, могут массово производить окна и фасады с приведенным сопротивлением теплопередаче 0,8 – 0,9 мК/Вт, однако, для того, чтобы добиться значений этого показателя необходимо использование дорогостоящих технологических решений.

Поэтому для достижения необходимых значений сопротивления теплопередаче необходимо осуществить ряд таких новых мероприятий, как дополнительное остекление или использование энергоэффективных стекол (с напылением). При тех же значениях сопротивления теплопередаче стоимость окна снижается на 18-25%. При использовании стеклопакетов с энергосберегающим стеклом решается проблема снижения излучательных потерь тепла через остекление за счет применения таких эффективных технических новшеств, как напыление на стекло практически невидимого для глаза слоя благородного металла, резко увеличивающего теплосберегающий эффект.

Энергоэффективным принято называть остекление, позволяющее эффективно регулировать энергетические потоки через оконные конструкции, задерживая тепловые инфракрасные излучения внутри здания и не пропуская извне ультрафиолетовый спектр солнечного излучения.

Энергоэффективное остекление можно разделить на три вида:

- теплосберегающее;
- солнцезащитное;
- комбинированное (солнцезащита + энергосбережение).

Наиболее распространенным видом энергоэффективного стекла является низкоэмиссионное, обладающее высокой светопропускающей способностью и прозрачностью и, в то же время, обеспечивающее достаточно высокие показатели коэффициента теплоизоляции. Иными словами, благодаря своей прозрачности, они позволяют солнечному свету проникать внутрь помещения, а аккумулированное внутри помещения тепло и тепловую энергию от нагревательных элементов отражать внутрь помещения.

5. Низкоэмиссионные энергосберегающие стекла

Твердое энергосберегающее покрытие (К-стекло)

Для придания флоат-стеклу энергосберегающих свойств на поверхность еще горячего стекла методом пиролиза в процессе производства на флоат-линии наносится тонкий слой специального металлооксидного покрытия. Такое покрытие, «спекаясь» со стеклом, отличается особой прочностью, и поэтому называется «твердое покрытие».

Величина излучательной способности К-стекла обычно имеет значение около 0,2. К-стекло получило распространение благодаря своему нейтральному цвету, простоте обработки и исключительным теплоизолирующим характеристикам. К-стекло может быть ламинировано и закалено. К-стекло (Low-E) применяется там, где требуется оптимизировать энергозатраты. К-стекло обычно входит в состав стеклопакетов в качестве стекла «на помещение», а низкоэмиссионное покрытие К-стекла обращено в межстекольное пространство.

Таким образом, преимущества К-стекла очевидны: К-стекло (Low-E) улучшает теплоизоляцию, существенно сокращает потери тепла, снижает затраты на отопление, на порядок уменьшает вероятность конденсации влаги на поверхностях стекла, предусматривает возможность остекления вместе с солнцезащитным стеклом. К-стекло обладает высокой светопрозрачностью и визуально практически ничем не отличается от обычного прозрачного стекла. К-стекло имеет прозрачное покрытие (Low-E) нейтрального цвета и его влияние на светопрозрачность и отражение едва заметно.

Еще раз следует отметить, что К-стекло предназначено для сокращения потерь тепла, и в особенности, через площади оконного остекления. Покрытие К-стекла пропускает солнечную энергию в коротковолновом диапазоне в помещение, но не пропускает тепловое излучение в длинноволновом диапазоне, например, от приборов и систем отопления [9].

Мягкое энергосберегающее покрытие (I-стекло)

Следующим серьезным шагом в изготовлении энергосберегающих стекол стало появление I-стекла, по своим характеристикам превосходящее вышеописанное К-стекло. Отличия между I-стеклом и К-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 Double Low-E покрытие I-стекла толщиной в несколько десятков нанометров прозрачно, обладает великолепной светопропускающей способностью и еще более низким ($E=0,04$) коэффициентом излучательной способности в сравнении с К-стеклом.

Применение стеклопакетов с I-стеклом в составе позволяет не только добиться снижения энергозатрат, но и заметно повысить комфорт в помещении. За время отопительного сезона энергосберегающий эффект от оконной конструкции средних размеров, остекленной стеклопакетами с I-стеклом в составе, эквивалентен сжиганию жидкого топлива (мазут, солярка) общей массой до 300 кг.

Недостатком I-стекла в сравнении с К-стеклом является его пониженная абразивная стойкость, что представляет определенные затруднения при транспортировке. Однако, с учетом того, что энергосберегающее покрытие I-стекла всегда располагают внутри стеклопакета, данный недостаток не сказывается на эксплуатационных характеристиках I-стекла [9].

Достоинства низкоэмиссионных стекол:

- однокамерный стеклопакет с любым (К-стекло, I-стекло) низкоэмиссионным 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), что обеспечивает более продолжительный срок эксплуатации оконного переплета и уменьшает нагрузку на оконную фурнитуру;
- однокамерный стеклопакет с низкоэмиссионным имеет даже большее светопропускание, чем двухкамерный с обычными стеклами;
- при массовом производстве цена однокамерного стеклопакета с энергосберегающим стеклом в составе практически не отличается от цены двухкамерного с обычными стеклами.

6. Другие виды энергоэффективных стекол

Электрохромные стекла

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 [18].

Новые поколения теплоотражающих и многофункциональных стекол

Внешнее многофункциональное стекло в составе стеклопакета имеет специальное покрытие из 7 невидимых глазу слоев оксидов металлов, способно выполнять одновременно солнцезащитные и теплоизолирующие функции. Данное стекло отличается прекрасными показателями по защите от избыточной солнечной энергии одновременно с великолепными характеристиками по теплозащите и высоким уровнем светопропускания. Имеет нейтральный серо-голубоватый оттенок и низкую зеркальность [18].

Стекла с фотоэлектрическим эффектом

Специальные полупрозрачные покрытия стекол с удовлетворительным КПД, обладающие способностью преобразования солнечного излучения в электрическую энергию, что позволяет использовать в инженерных системах зданий практически неиспользуемые ранее фасады зданий и обеспечить дополнительную энергетическую эффективность светопрозрачных и фасадных конструкций.

Вакуумные стеклопакеты

Чтобы улучшить значительно 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.

Эти газы имеют намного большее значение вязкости, чем у обычного воздуха и именно поэтому, потери при лучистом теплообмене, можно свести к минимуму. Также достигать таких результатов, а порой и более эффективных, можно, если применять в производстве стеклопакетов, такие стёкла, на поверхность которых нанесено специальное энергосберегающее покрытие [18].

Стеклопакеты с электронагревом

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. Её можно регулировать не только в ручную, но и при помощи автоматики. Стеклопакет с электронагревом может являться дополнительным источником тепла, который может заменить теплый пол и даже батарею в случае утепления балкона или лоджии [18].

Заполнение межстекольного пространства стеклопакетов аэрогелем

Одним из перспективных и эффективных методов повысить теплоизоляционные характеристики современных стеклопакетов называют заполнение пространства между стёклами аэрогелем диоксида кремния. Аэрогель диоксида кремния содержит в себе небольшие сферы аморфного кремнезема, которые соединяются друг с другом в цепи, образуя трехмерную сетку. Поры в этой сетке заполнены воздухом. Аэрогель более чем на 96% содержит в своих порах воздух. Оставшиеся 4 % это тонкая матрица SiO₂.

На данный момент времени технология изготовления аэрогеля остается дорогостоящей. Также его распространение в качестве теплоизолятора сдерживает факт недостаточной прозрачности – аэрогель пока имеет слегка желтый цвет на светлом фоне, и светло-голубой на черном. Поэтому сейчас учеными решаются две основные задачи. Первая – довести уровень прозрачности аэрогеля до максимума. Вторая – удешевить технологию его производства [18].

Композитные материалы рамных конструкций

Композитные материалы рамных конструкций используются для повышения прочности, исключения стальных усилителей в стандартных ПВХ профилях, а также для повышения теплотехнических характеристик окон в целом. Было разработано целое поколение оконных профилей из различных композитных материалов – в том числе, стекловолокна, комбинации ПВХ и стеклопластика, смеси деревянных опилок и ПВХ крошки и многих других. Большинство из них имеют, однако, ограниченное использование на сегодняшний день. В то же время, в связи повышением теплотехнических и экологических требований к оконным конструкциям в большинстве развитых стран, а также необходимостью утилизации отходов от производства ПВХ и других видов оконных конструкций, в последние годы многие крупные фирмы обратили на эти материалы повышенное внимание, что позволяет надеяться на расширение их использования в ближайшие годы [18].

7. Расчет трансмиссионных потерь

Исходные данные:

Проведем сравнительный расчет годового расхода потерь тепловой энергии через наружные светопрозрачные конструкции здания за отопительный период с тремя разными видами окон:

- 1) Двухкамерный стеклопакет 32мм 4М1-10-4М1-10-4М1
- 2) Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14-4М1-14-4М1
- 3) Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14П(Ar)-4М1-14П(Ar)-4И, где

4М1 - листовое стекло марки М1 толщиной 4 мм;

4И - низкоэмиссионное стекло 4 мм с энергосберегающим И-покрытием;

-10-, -14- - толщина воздушной камеры в мм, заполнена воздухом;

-14ПAr- - толщина воздушной камеры 14мм, заполнена аргоном.

Расчетные климатические и теплоэнергетические параметры здания для климатических условий Санкт-Петербурга приняты по СНИП 23-01-99* и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные условия

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1.1. Расчетная температура наружного воздуха	t_n	°C	-26
1.2. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	-1,8
1.3. Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	сут/год	220
1.4. Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°C·сут/год	4796
1.5. Расчетная температура внутреннего воздуха	t_v	°C	20
1.6. Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°C	-
1.7. Расчетная температура в помещениях подземной автостоянки	$t_{подз}$	°C	5,0

Площади наружных ограждающих конструкций отапливаемого объема здания представлены в таблице 2.

Таблица 2. Площади наружных ограждающих конструкций

Тип наружной ограждающей конструкции	Площадь конструкции A_i , м ²
2.1. Светопрозрачные конструкции - $A_{ок}$	37 572,0
2.2. Входные наружные двери - $A_{дв}$	26,46
2.3. Совмещенное покрытие - $A_{покp}$	1 945,0
2.4. Цокольное перекрытие над помещениями подземной автостоянки - $A_{ц,перекp}$	4 259,3
Суммарная площадь наружных ограждающих конструкций отапливаемого объема здания - $A_n^{сум}$	43 802,76

Требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче R_0^{mp} , м²·°C/Вт наружных ограждающих конструкций, принятые по минимальным требованиям согласно СП 50.13330.2012 $R_{СП}^{mp}$.

В таблице 4 приведены фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций проектируемого здания R_0^{mp} , м²·°C/Вт, удовлетворяющие минимальным требованиям согласно СП 50.13330.2012.

Таблица 3. Минимальные требования к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций высотного общественно-делового комплекса согласно нормативным требованиям различных стандартов

Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче, R_0^{TP} , м ² ·°C/Вт, рассчитанные по стандартам:
	СП 50.13330.2012 $R_{СП}^{TP}$, м ² ·°C/Вт
3.1. Светопрозрачные конструкции	0,49
3.2. Входные наружные двери	0,79
3.3. Совмещенное покрытие	3,68
3.4. Цокольное перекрытие над помещениями подземной автостоянки	1,34

Таблица 4. Фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций высотного общественно-делового комплекса, удовлетворяющие нормативным требованиям различных стандартов

Тип наружной ограждающей конструкции	Фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче, R_0^{TP} , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, удовлетворяющие требованиям стандартов:
	СП 50.13330.2012 $R_{СП}^{TP}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$
4.1. Светопрозрачные конструкции	0,51
4.2. Входные наружные двери	0,79
4.3. Совмещенное покрытие	3,68
4.4. Цокольное перекрытие над помещениями подземной автостоянки	1,34

Таблица 5. Фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче различных типов светопрозрачных конструкций

Типы светопрозрачных конструкций	Фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче, R_0^{TP} , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$
5.1. Двухкамерный стеклопакет 32 мм 4М1-10-4М1-10-4М1	0,47
5.2. Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14-4М1-14-4М1	0,51
5.3. Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14П(Ar)-4М1-14П(Ar)-4И	0,80

Потери тепловой энергии через оболочку здания

$$Q_{огр}^Г = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \sum_i \frac{A_i}{R_i} \cdot n \quad 1)$$

По СП 50.13330.2012 - $Q_{огр(СП)}^Г$, кВт·ч/год



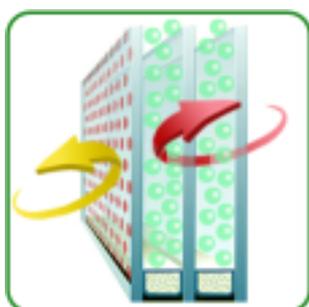
Рисунок 1
Двухкамерный
стеклопакет 32 мм 4М1-
10-4М1-10-4М1 [13]

Двухкамерный стеклопакет 32 мм 4М1-10-4М1-10-4М1

$$\begin{aligned} Q_{огр(СП)}^Г &= 0,024 \cdot ГСОП \cdot \sum_i \frac{A_i}{R_i} \cdot n = \\ &= 0,024 \cdot 4796 \cdot \left(\frac{A_{ок}}{R_{ок(СП)}^{TP}} + \frac{A_{дв}}{R_{дв(СП)}^{TP}} + \frac{A_{покр}}{R_{покр(СП)}^{TP}} + n \cdot \frac{A_{ц.перекр}}{R_{ц.перекр(СП)}^{TP}} \right) = \\ &= 0,024 \cdot 479 \cdot \left(\frac{37572}{0,47} + \frac{26,46}{0,79} + \frac{1945}{3,68} + 0,33 \cdot \frac{4259,3}{1,34} \right) \\ &= 9\,386\,890,5 \end{aligned}$$

Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14-4М1-14-4М1

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{огр(СП)}}^{\Gamma} &= 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_i \frac{A_i}{R_i} \cdot n = \\
 &= 0,024 \cdot 4796 \cdot \left(\frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{ок(СП)}^{\text{ТР}}} + \frac{A_{\text{дв}}}{R_{\text{дв(СП)}^{\text{ТР}}} + \frac{A_{\text{покр}}}{R_{\text{покр(СП)}^{\text{ТР}}} + n \cdot \frac{A_{\text{ц.перекр}}}{R_{\text{ц.перекр(СП)}^{\text{ТР}}} \right) = \\
 &= 0,024 \cdot 4796 \cdot \left(\frac{37572}{0,51} + \frac{26,46}{0,79} + \frac{1945}{3,68} + 0,33 \cdot \frac{4259,3}{1,34} \right) = \\
 &= 8\,665\,207,1 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)}
 \end{aligned}$$



Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14П(Аг)-4М1-14П(Аг)-4И

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{огр(СП)}}^{\Gamma} &= 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_i \frac{A_i}{R_i} \cdot n = \\
 &= 0,024 \cdot 4796 \cdot \left(\frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{ок(СП)}^{\text{ТР}}} + \frac{A_{\text{дв}}}{R_{\text{дв(СП)}^{\text{ТР}}} + \frac{A_{\text{покр}}}{R_{\text{покр(СП)}^{\text{ТР}}} + n \cdot \frac{A_{\text{ц.перекр}}}{R_{\text{ц.перекр(СП)}^{\text{ТР}}} \right) = \\
 &= 0,024 \cdot 479 \cdot \left(\frac{37572}{0,8} + \frac{26,46}{0,79} + \frac{1945}{3,68} + 0,33 \cdot \frac{4259,3}{1,34} \right) \\
 &= 5\,591\,287,1 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)}
 \end{aligned}$$

Рисунок 2
Двухкамерный
стеклопакет 40мм 4М1-
14П(Аг)-4М1-14П(Аг)-4И
[13]

Результаты расчета трансмиссионных потерь тепловой энергии в здании приведены в таблице 6.

Таблица 6. Годовой расход потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции здания за отопительный период

Результаты расчета, удовлетворяющие требованиям стандартов:	Годовой расход тепловой энергии через наружные светопрозрачные конструкции		
	кВт·ч/год	МДж/год	ГКал/год
Двухкамерный стеклопакет 32 мм 4М1-10-4М1-10-4М1	9 386 890,5	33 792 805,8	8 072,7
Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14-4М1-14-4М1	8 665 207,1	31 194 745,6	7 452,1
Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14П(Аг)-4М1-14П(Аг)-4И	5 591 287,1	20 128 633,6	4 808,5

8. Экономическое сопоставление затрат на отопление

Сравним экономические затраты на отопление трех типов светопрозрачных конструкций. В соответствии с Распоряжением Комитета по тарифам СПб от 20.12.2011г. №497-р стоимость 1 Гкал для Санкт-Петербурга равна 1 175 руб. Умножим эту величину на годовые потери тепловой энергии, рассчитанные в течение одного отопительного периода для трех типов окон (см. табл. 6). Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7. Затраты тепловой энергии на отопление здания при учете потерь только через светопрозрачные конструкции

Результаты расчета по стандарту	Годовой расход тепловой энергии, Гкал/год	Затраты тепловой энергии на отопление, руб./год
Двухкамерный стеклопакет 32 мм 4М1-10-4М1-10-4М1	8 072,7	9 485 422,5
Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14-4М1-14-4М1	7 452,1	8 756 217,5
Двухкамерный стеклопакет 40мм 4М1-14П(Ar)-4М1-14П(Ar)-4И	4 808,5	5 649 987,5

Как видно из таблиц 6 и 7, энергоэффективные светопрозрачные конструкции не только сокращают расход тепловой энергии за один отопительный период, но так же значительно сокращают экономические расходы на отопление здания.

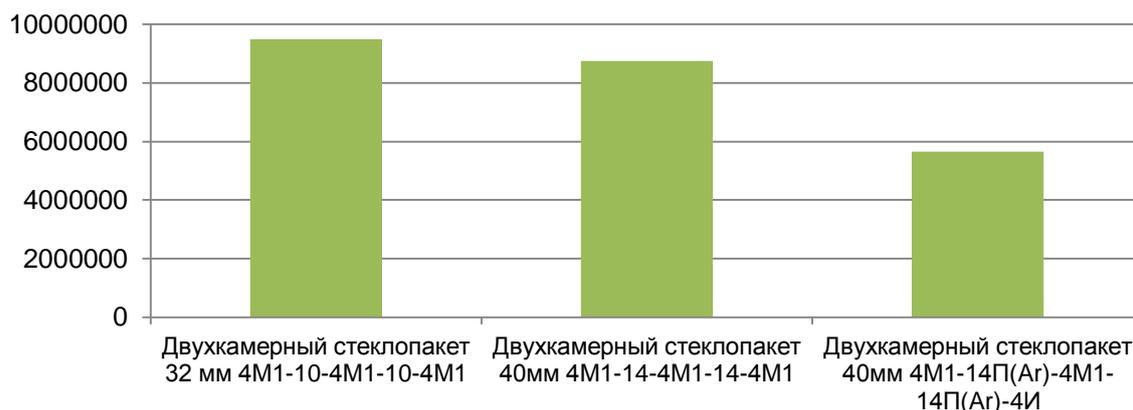


Рисунок 3. Экономическое сопоставление затрат на отопление в руб/год

9. Заключение

В статье рассмотрена классификация светопрозрачных конструкций в зависимости от варианта исполнения и конструктивных решений. Потери тепла через такие системы можно разделить на вентиляционные и трансмиссионные (излучательные). 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, с фотоэлектрическим эффектом, с электронагревом и т.д.) и стеклопакетов (вакуумных, многофункциональных, с заполнением внутреннего пространства аэрогелем).

Произведен расчет трансмиссионных потерь здания с использованием трех типов светопрозрачных конструкций - двух стандартных двухкамерных стеклопакетов и стеклопакета с мягким эмиссионным покрытием и заполнением межстекольного пространства аргоном. Сравнение значений тепловых потерь здания наглядно показывает преимущество использования энергоэффективного окна: тепловые потери уменьшаются почти в 2 раза. Экономическое сопоставление затрат также указывает на преимущество энергосберегающего стеклопакета, что можно увидеть на графике.

Литература

- [1]. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В., Щуров А.Н., Константинов А.П., Стратий П.В., Дербина С.Н., Киселёва И.И. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями // Инженерно-информационный Центр Оконных Систем. 2012. С. 14-58.
- [2]. Горшков А.С., Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 246-250.
- [3]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4-14
- [4]. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
- [5]. Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritsyna A.A. Increase of energy efficiency for educational institution building. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 953-954. pp. 854-870.
- [6]. Лещенко А.С., Бурмистров И.Н., Панова Л.Г. Разработка светопрозрачных пожаробезопасных конструкций и состава на основе эпоксидных олигомеров // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. №1(15). т.4. С. 107-112.
- [7]. Низовцев М.И., Терехов В.И. Светопрозрачные конструкции с регулируемыми тепловыми характеристиками // Ползуновский вестник. 2011. №1. С.60-76.
- [8]. Казиев М.М., Дудунов А.В. Огнестойкие светопрозрачные конструкции // Пожаровзрывобезопасность. 2007. том 16. №2. С. 54-55.
- [9]. Куренкова А.Ю. Энергоэффективное остекление: какой путь выберет Россия // Энергосовет. 2012. №4(23). С. 43-47.
- [10]. Коржнева Т.Г., Ушаков В.Я., Овчаров А.Т. Анализ теплопотерь помещений через системы естественного освещения // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 4. С.56-60.
- [11]. Ватин Н.И., Немова Д.В. Повышение энергоэффективности зданий детских садов // Интернет-журнал "Строительство уникальных зданий и сооружений". 2012. №3. С. 52-76.
- [12]. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Tarasova D. Definition of the overturning and holding moments for floor-by-floor leaning walls made from aerated concrete blocks. *Applied Mechanics and Materials Vols*. 2014. No. 633-634. pp. 897-903.
- [13]. Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Tarasova D. Energy efficiency of facades at major repairs of buildings. *Applied Mechanics and Materials Vols*. 2014. No. 633-634. pp. 991-996.
- [14]. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М., 1999. 17 с.
- [15]. Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. Increase of energy efficiency of the building of kindergarten. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 953-954. pp. 1537-1544.
- [16]. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Госстрой России. М., 2004. 30 с.
- [17]. 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.
- [18]. Электронный ресурс: <http://www.tybet.ru/content/articles/index.php>. Дата обращения 14.11.2014.
- [19]. Электронный ресурс: <http://vam-okno.ru/steklopakety-vybor>. Дата обращения 27.11.2014.
- [20]. Руководство по расчету теплопотребления эксплуатируемых жилых зданий // Руководство АВОК-8-2007. М.: «Авок-Пресс». 2007. С. 22.
- [21]. Самарин О.Д. О влиянии изменения климата на окупаемость дополнительного утепления несветопрозрачных ограждений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 561-563.
- [22]. Комитет по тарифам Санкт-Петербурга // Распоряжение Комитета по тарифам СПб от 20.12.2011г. №497-р. Об установлении тарифов для расчета размера платы за коммунальную услугу по отоплению и коммунальную услугу по горячему водоснабжению, предоставляемые гражданам, и тарифа на тепловую энергию для граждан, проживающих в индивидуальных жилых домах, на территории Санкт-Петербурга на 2012 год. СПб. 2011. С. 3-9.
- [23]. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Сборник «Труды I Всероссийской научно-технической конференции». 2008. С. 24-62.

- [24]. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4-12.
- [25]. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2-6.
- [26]. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9-13.
- [27]. Зорин Р.Н., Чигарева Ю.С. Обзор опыта строительства зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций // УДК 728.5(510). С.136-140.
- [28]. Тельтевский А.П., Евстафьева М.В. Оценка влияния дефектов на надежность и прочность навесных светопрозрачных фасадов высотных зданий // Строительные науки. 2010. №3. С. 613-617.
- [29]. Якубсон В.М. Энергоэффективность зданий и сооружений: практические шаги // Magazine of Civil Engineering. 2013. №6. С. 5-6.
- [30]. Русанов А. Е., Мозгалева К. М., Головнев С. Г. Оценка теплозащитных свойств светопрозрачных конструкций при строительстве и эксплуатации зданий // Академический вестник Урал НИИ Проект РААСН. 2013. №4. С. 76-79.
- [31]. Панчук Н.Н. Разные фасады в архитектуре (навесные, вентилируемые, светопрозрачные...) // Новые идеи нового века – 2014. Том 2. С. 214-217
- [32]. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России. 2012.
- [33]. Guoa W., Qiaoa X., Huang 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. С. 43-53.
- [34]. Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gub. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel // Energy Procedia. Volume 14. 2012. Pp. 1523–1527.
- [35]. D. Eastop, D.R. Croft. Longman. Energy Efficiency. 1990. 400 p.
- [36]. Richard R. Vaillencourt. Simple Solutions to Energy Calculations // Fourth Edition. Fairmont Press. 2007. 225 p.
- [37]. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. Energy Conservation in Buildings Heating // Ventilation and Insulation. Springer. 1983. 512 p.
- [38]. Harrison S.J., McCurdy G.G., Cooke R. Preliminary Evaluation of the Daylighting and Thermal Performance of Cylindrical Sky lights // Proceedings of International Daylight Conference. Ottawa, Canada. 1998. 205–212 p.
- [39]. Naylor D., Lai B.Y. Experimental study of natural convection in a window with a be-tween-panes venetian blind. Exp. Heat Transfer. 2007. vol. 20. 1-17 p.
- [40]. Glaser H.J. Large area glass coating. 1st Engl. Edit. Dresden. 2000. 472 p.
- [41]. 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.

Translucent structures and methods to increase their energy efficiency

E.I. Davydova¹, P.A. Gnam², D.S. Tarasova³

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 01 December 2014
Accepted 24 May 2015

Keywords

translucent structures,
energy efficiency,
energy saving,
external enclosure structures,
building energy saving

ABSTRACT

This article contains an overview of the various types of energy-efficient translucent structures (low-emission, electrochromic, vacuum, etc.), given the characteristics of each of them, as well as their advantages and disadvantages. The advantages include a high R-value and high translucency. Disadvantages include expensive and labor-intensive production. In addition, article consider the pros and cons of using translucent structures in general, on the basis of the calculation for building with three different translucent structures - energy efficiency and two conventional (with different R-value). Heat loss and cost savings by using energy-efficient designs were also counted.

¹ *Corresponding author:*
+7 (921) 590 9426, simone-red@yandex.ru (Evgenia Ivanovna Davudova, Student)
² +7 (911) 832 9417, polina_padfoot@mail.ru (Polina Aleksandrovna Gnam, Student)
³ +7 (931) 256 4594, tarasovads@gmail.com (Darya Sergeevna Tarasova, Graduate Student)

References

- [1]. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V., Shchurov A.N., Konstantinov A.P., Stratiy P.V., Derbina S.N., Kiseleva I.I. *Zdaniya i sooruzheniya so svetoprozrachnymi fasadami i krovlyami* [Buildings and structures with translucent facades and roofs]. Center of engineering and information of window systems. 2012. Pp. 14-58. (rus)
- [2]. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. *Meropriyatiya po povysheniyu energoeffektivnosti v stroitelstve* [Measures to improve energy efficiency in buildings]. Architecture and Construction. 2010. No. 3. Pp. 246-250. (rus)
- [3]. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. *Vliyaniye urovnya teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy na velichinu poter teplovoy energii v zdanii* [The influence of the level of thermal protection of enclosing structures on the value of the loss of thermal energy in the building]. Magazine of civil engineering. 2012. No. 8(34). Pp. 4-14. (rus)
- [4]. Federal law No. 261-FZ. *Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otдельnye zakonodatelnyye akty Rossiyskoy Federatsii* [Energy saving and Improvement of Energy Efficiency and amending the Individual Legislative Acts of the Russian Federation]. (rus)
- [5]. Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritsyna A.A. Increase of energy efficiency for educational institution building. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 953-954. pp. 854-870.
- [6]. Leshchenko A.S., Burmistrov I.N., Panova L.G. *Razrabotka svetoprozrachnykh pozharobezopasnykh konstruksiy i sostava na osnove epoksidnykh oligomerov* [Development of transparent fireproof structures and composition based on epoxy oligomers]. Proceedings of the MGTU «MAMI». 2013. No. 1(15). Pp. 107-112. (rus)
- [7]. Nizovtsev M.I., Terekhov V.I. *Svetoprozrachnyye konstruksii s reguliruyemyimi teplovymi kharakteristikami* [Translucent design with adjustable thermal characteristics]. *Polzunovsky vestnik*. 2011. No. 1. Pp.60-76. (rus)
- [8]. Kaziyev M.M., Dudunov A.V. *Ognestoykiye svetoprozrachnyye konstruksii* [Fire-resistant translucent structures]. *Fire safety*. 2007. No. 2. Pp. 54-55. (rus)
- [9]. Kurenkova A.Yu. *Energoeffektivnoye ostekleniye: kakoy put vyberet Rossiya* [Energy efficient glazing: which path Russia will choose]. *Energosovet*. 2012. No. 4(23). Pp. 43-47. (rus)
- [10]. Korzhneva T.G., Ushakov V.Ya., Ovcharov A.T. *Analiz teplopoter pomeshcheniy cherez sistemy yestestvennogo osveshcheniya* [Analysis of heat loss through the facilities of natural light]. Proceedings of the Tomsk Politekhichal University. 2013. No 4. Pp.56-60. (rus)
- [11]. Vatin N.I., Nemova D.V. *Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy detskikh sadov* [Improving the energy efficiency of kindergartens]. *Construction of unique buildings and structures*. 2012. No. 3. Pp. 52-76. (rus)
- [12]. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Tarasova D. Definition of the overturning and holding moments for floor-by-floor leaning walls made from aerated concrete blocks. *Applied Mechanics and Materials Vols*. 2014. No. 633-634. pp. 897-903.
- [13]. Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Tarasova D. Energy efficiency of facades at major repairs of buildings. *Applied Mechanics and Materials Vols*. 2014. No. 633-634. pp. 991-996.
- [14]. GOST 30494-96. *Zdaniya zhilyye i obschestvennyye. Parametry mikroklimate v pomeshcheniyakh* [Residential and public buildings. Parameters of indoor environment]. Moscow. 1999. Pp. 17. (rus)
- [15]. Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. Increase of energy efficiency of the building of kindergarten. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 953-954. pp. 1537-1544.
- [16]. SNiP 23-02-2003. *Teplovaya zashchita zdaniy. Gosstroy Rossii* [Thermal protection of buildings]. Moscow. 2004. Pp. 30. (rus)
- [17]. 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.
- [18]. Internet portal "Okonnyyi internet" [Web portal "Windows internet"] <http://www.tybet.ru/content/articles/index.php>. (Accessed 14.11.2014.) (rus)
- [19]. Sait "Vam Okno" [Web site "Your window"] <http://vam-okno.ru/steklopakety-vybor>. (Accessed 27.11.2014.) (rus)
- [20]. *Rukovodstvo po raschetu teplopotrebleniya ekspluatiruyemykh zhilykh zdaniy* [Guidelines for the calculation of heat operated residential buildings]. AVOK-8-2007. Avok-Press. Moscow. 2007. Pp. 22. (rus)
- [21]. Samarin O.D. *O vliyanii izmeneniya klimata na okupayemost dopolnitelnogo utepleniya nesvetoprozrachnykh ograzhdeniy* [The influence of climate change on the return on additional insulation Non transparent fences]. *Academia. Architecture and Construction*. 2009. No. 5. Pp. 561-563. (rus)
- [22]. *Komitet po tarifam Sankt-Peterburga. Rasporyazheniye Komiteta po tarifam SPb ot 20.12.2011g. №497-r. Ob ustanovlenii tarifov dlya rascheta razmera platy za kommunalnuyu uslugu po otopleniyu i kommunalnuyu uslugu*

- po goryachemu vodosnabzheniyu, predostavlyayemyye grazhdanam, i tarifa na teplovuyu energiyu dlya grazhdan, prozhivayushchikh v individualnykh zhilykh domakh, na territorii Sankt-Peterburga na 2012 god [The Committee on Tariffs St. Petersburg // Order of the committee on tariffs of St. Petersburg from 20.12.2011g. №497-p. On establishing the tariffs for the calculation of the amount to pay for utilities heating and utilities for hot water supply to nationals, and the tariff for heat energy for the citizens living in individual homes, in St. Petersburg in 2012]. Saint-Petersburg. 2011. Pp. 3-9. (rus)
- [23].Gagarin V.G. *Ekonomicheskiy analiz povysheniya urovnya teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Economic analysis of improving the thermal protection of building envelopes]. Proceedings of the 1st All-Russian scientific and technical conference. 2008. Pp. 24-62. (rus)
- [24].Gagarin V.G., Kozlov V.V. *Teoreticheskiye predposylki rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruksiy* [Theoretical background for calculating the reduced R-value]. Construction materials. 2010. No. 12. Pp. 4-12. (rus)
- [25].Gagarin V.G., Kozlov V.V. *Trebovaniya k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v projekte aktualizirovannogo SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy»* [Requirements for thermal protection and energy efficiency in the draft of an updated SNiP "Thermal Protection of Buildings"]. Residential engineering. 2011. No. 8. Pp. 2-6. (rus)
- [26].Gorshkov A. S. *Energoeffektivnost v stroitelstve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu energopotrebleniya zdaniy* [Energy efficiency in buildings: the valuation issues and measures to reduce energy consumption of buildings]. Magazine of Civil Engineering. 2010. No. 1. Pp. 9-13. (rus)
- [27].Zorin R.N., Chigareva Yu.S. *Obzor opyta stroitelstva zdaniy s bolshoy ploshchadyu svetoprozrachnykh konstruksiy* [An overview of experience in construction of buildings with a large area of translucent structures]. UDK 728.5(510). Pp.136-140. (rus)
- [28].Teltevskiy A.P., Yevstafyeva M.V. *Otsenka vliyaniya defektov na nadezhnost i prochnost navesnykh svetoprozrachnykh fasadov vysoznykh zdaniy* [Assessing the impact of defects on the reliability and durability of hinged translucent facades of high-rise buildings]. Science of civil engineering. 2010. No. 3. Pp. 613-617. (rus)
- [29].Yakubson V.M. *Energoeffektivnost zdaniy i sooruzheniy: prakticheskiye shagi* [Energy efficiency of buildings and structures: practical steps]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 6. Pp. 5-6. (rus)
- [30].Rusanov A. Ye.,Mozgalev K. M.,Golovnev S. G. *Otsenka teplozashchitnykh svoystv svetoprozrachnykh konstruksiy pri stroitelstve i ekspluatatsii zdaniy* [Evaluation of heat-shielding properties of translucent structures in the construction and maintenance of buildings]. Akademical vestnik of Ural NII Project RAASN. 2013. No. 4. Pp. 76-79. (rus)
- [31].Panchuk N.N. *Raznyye fasady v arkhitekture (navesnyye, ventiliruyemye, svetoprozrachnyye...)* [Different facades in architecture (hinged, ventilated, translucent ...)]. New ideas of the new age – 2014. Pp. 214-217. (rus)
- [32].SP 50.13330.2012 *Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003* [Thermal protection of buildings. The updated edition of SNiP 23-02-2003]. Minregion of Russia. 2012. (rus)
- [33].Guoa W., Qiaoa X., Huang 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.
- [34].Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gub. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel. Energy Procedia. Volume 14. 2012. Pp. 1523–1527.
- [35].D. Eastop, D.R. Croft. Longman. Energy Efficiency. 1990. 400 p.
- [36].Richard R. Vaillencourt. Simple Solutions to Energy Calculations // Fourth Edition. Fairmont Press. 2007. 225 p.
- [37].Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. Energy Conservation in Buildings Heating, Ventilation and Insulation. Springer. 1983. 512 p.
- [38].Harrison S.J., McCurdy G.G., Cooke R. Preliminary Evaluation of the Daylighting and Thermal Performance of Cylindrical Sky lights // Proceedings of International Daylight Conference. Ottawa, Canada. 1998. 205–212 p.
- [39].Naylor D., Lai B.Y. Experimental study of natural convection in a window with a be-tween-panes venetian blind. Exp. Heat Transfer. 2007. vol. 20. 1-17 p.
- [40].Glaser H.J. Large area glass coating. 1st Engl. Edit. Dresden. 2000. 472 p.
- [41].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.

Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №5(32). С. 112-128.

Davydova E.I., Gnam P.A., Tarasova D.S. Translucent structures and methods to increase their energy efficiency. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 5(32), Pp. 112-128. (rus)