

**Телемгенова М.<sup>1</sup>, Зубова О.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>магистрант ГПИИР, Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан, e-mail: mt0204@mail.ru, тел.: +7 747 960 0690

<sup>2</sup>к.т.н., ст. преподаватель кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию,  
факультет географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,  
e-mail: Olga.Zubova@kaznu.kz, тел.: +7 777 254 5891

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРАБОТОК  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ И ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМЫХ ОКОН**

В статье описана методика и представлены результаты исследования свойств опытных образцов электрообогреваемых стеклопакетов. Рассмотрены виды энергосберегающих слоев стеклопакетов: К–покрытие и I–покрытие. Осуществлено сравнение тепловых характеристик окон с энергосберегающими стеклами и с обычными стеклопакетами, которое показало, что однокамерный стеклопакет с энергосберегающим стеклом эффективнее двухкамерного стеклопакета. При этом стеклопакеты с I – стеклами более энергоэффективны, чем с К – стеклами. Изучены механические свойства и термостойкость закаленного стекла, которые зависят от степени закалки. Рассмотрен процесс закачки инертных газов – аргона или криптона в камеры между стеклами с целью уменьшения потери теплоты от конвективного теплообмена. Данная процедура улучшает характеристики свето-пропускающих конструкций с энергосберегающим покрытием. Также выполнен анализ тепловых полей в плоскости стекла. Продемонстрирована возможность измерения характеристик термоупругих состояний, возникающих в процессе нагрева стеклопакета. При проведении исследований электро- и теплофизических характеристик стеклопакетов были выполнены измерения токов утечки, мощности стеклопакетов при рабочей температуре и сопротивления токопроводящих дорожек. В данной статье рассмотрены преимущества использования энергосберегающих стекол, а также схемы действия энергосберегающего стекла в летний и зимний периоды. Энергосберегающие стекла являются новым витком в разнообразных программах для уменьшения тепловых потерь и могут быть использованы в целях энергосбережения в жилых и производственных зданиях.

**Ключевые слова:** энергосберегающие окна, электрообогреваемые стеклопакеты, метод измерения, сопротивление нагревателя, температурные поля, термонапряжения.

Telemgenova M.<sup>1</sup>, Zubova O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>master student of GPIIR, al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan, e-mail: mt0204@mail.ru, tel.: +7 747 960 0690

<sup>2</sup>candidate of technical sciences, senior lecturer, al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan, e-mail: Olga.Zubova@kaznu.kz, tel.: +7 777 254 5891

**Research of development of energy-saving and electrically-heated windows**

The article describes the technique and presents the results of research into the properties of prototypes of electrically heated double-glazed windows. The types of energy-saving layers of double-glazed windows are considered: K-coating and I-coating. Comparison of thermal characteristics of windows with energy-saving glasses and with ordinary double-glazed windows was performed, which showed that a single-compartment glass unit with energy-saving glass is more effective than a double-glazed unit. In this case, double glazing with I - glasses are more energy efficient than with K - glasses. The mechanical properties and heat resistance of tempered glass are studied, which depend on the degree of quenching. The process of injecting inert gases, argon or krypton into the chambers between the glasses, is considered to reduce heat loss from convective heat transfer. This procedure improves the charac-

teristics of light-transmitting structures with an energy-saving coating. Thermal fields in the glass plane are also analyzed. The possibility of measuring the characteristics of thermoelastic states arising during the heating of a glass unit is demonstrated. When conducting studies of electrical and thermophysical characteristics of insulating glass units, leakage currents, the power of insulating glass units at operating temperature and the resistance of conductive paths were measured. This article discusses the advantages of using energy-saving glasses, as well as the scheme of action of energy-saving glass in summer and winter. Energy-saving glass is a new turn in a variety of programs to reduce heat losses and can be used for energy saving in residential and industrial buildings.

**Key words:** energy-saving windows, electrically heated double-glazed windows, measuring method, heater resistance, temperature fields, thermal stresses.

Телемгенова М.<sup>1</sup>, Зубова О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>магистрант ГПИИР, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан, e-mail: mt0204@mail.ru, тел.: +7 747 960 0690

<sup>2</sup>т.ғ.к., аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан, e-mail: Olga.Zubova@kaznu.kz, тел.: +7 777 254 5891

### Энергияны үнемдейтін және электрлі жылытылатын терезелерді құрастыруды зерттеу

Бұл мақалада электрқыздыру шынылар туралы тәжірибелік үлгі зерттеу әдістері суреттелген және ұсынылған. Энергия үнемдеуіш шынылар түрлері қаралған: К-төсем және I-төсем. Терезелердің жылу сипаттамасы энергия үнемдеуіш мен әдеттегі шынылар салыстырылды және осындай нәтиже көрсетті, бір бөлімдік энергия үнемдеуіш шынылар, екі бөлімдік шыныларға қарағанда тиімді. Сонымен бірге I-төсем шынылары, К-төсем шыныларға қарағанда көбірек тиімді. Шыңдалған шынылардың механикалық қасиеттер мен жылуға төзімділік қасиеттері зерттеп танылды. Инертті газ айдау процесі қаралды – аргон немесе криптон шынылар арасына, жылуды жоғалту конвективтік жылу алмасуыдан азайту мақсатымен зерттеу. Бұл рәсім жарық өткізілетін құрастырылым энергия үнемдеуіш шынылардың сипаттамасын жақсарттады. Сонымен қатар жылу өрісі шын жазықтығында талдау істелінді. Шынылардың электр және жылу физикалық сипаттамасы зерттеу жүргізу кезінде жылыстау тоғы, шынылардың қуаты жұмыс температурасында және тоқөткізгіш кедергісінің өлшеу орындалды. Бұл мақалада энергия үнемдеуіш шынылардың артықшылық пайдалану мен энергия үнемдеуіш шынылардың жазда және қыста іс-қимылдар сұлбасы туралы қаралған. Энергия үнемдеуіш шынылар жылушығын азайту әр түрлі бағдарламада жаңа түрі болып табылады және энергияүнемдеу мақсатында тұрғын жай мен өндірістік ғимаратта пайдалануға болады.

**Түйін сөздер:** энергия үнемдеуіш шынылар, электрқыздырғыш шынылар, өлшеу әдісі, қыздырғыш кедергісі, температуралық өрісі, жылу күшейту.

Технологии энергосбережения представлены не только в строительстве, но и других отраслях и затрагивают вопросы, как сохранения тепла, так и оптимизации других ресурсов. Поэтому вопрос энергосбережения нужно рассматривать в разрезе таких направлений, как оптимизация электроэнергии, тепловой энергии, водных ресурсов, топлива, а также ухудшения общей экологической ситуации. Параллельно с ухудшением экологической ситуации и ростом цен на традиционные источники энергии растет спрос на новые возможности в строительной сфере, развиваются новые технологии энергоэффективного строительства. Одной из новых разработок в сфере окностроения стал так называемый стеклопакет «с подогревом» или электрообогреваемый стеклопакет.

В своем Послании народу Казахстана «Стратегия-2050» Президент Республики Казахстан Н.А. Назарбаев указал на необходимость вне-

дрения методик энергосбережения и энергоэффективности в стране. В области энергосбережения и энергоэффективности в Казахстане принят закон «Об энергосбережении и энергоэффективности». Согласно ему энергосбережение – реализация организационных, технологических, экономических и других мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов

Энергетическая эффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенных в целях получения такого эффекта.

Теплозащитные и энергосберегающие функции окна приобретают важное значение для конечного потребителя, так как через окна, в зависимости от типа дома, происходят потери тепла от 37% до 56% (квартиры, расположенные в торце дома) (Диомидов М.В., 2002: 42). Современ-

ные требования, предъявляемые к окнам – это надежная защита от шума, ветра, холода. Решение этих задач достигается за счет герметичности стеклопакетов, но усилия разработчиков сегодня направлены не на повышение воздухо- непроницаемости оконного блока, а на создание энергосберегающих стеклопакетов.

Обеспечение эффективной теплоизоляции элементов остекления зданий и салона транспортных средств является одной из актуальных задач. Для уменьшения тепловых потерь, обусловленных процессами теплопроводности и конвекции, обычно применяют двойное остекление, что в целом дает лишь незначительный эффект, так как основные потери тепла вызваны переносом энергии в результате теплового излучения. Определенное снижение потерь достигается путем использования так называемых энергосберегающих стекол, особые свойства которых связаны с нанесением на их поверхность низко-эмиссионных оптических покрытий. Такие покрытия обеспечивают прохождение коротковолнового солнечного излучения внутрь помещения, но препятствуют выходу из него инфракрасного излучения, например, от отопительных приборов. Применение стеклопакетов на основе стекол с низкоэмиссионными покрытиями гарантирует определенный уровень теплозащиты. Однако даже самые эффективные стеклопакеты полностью не решают проблему выравнивания температуры стекла и помещения и получения комфортных условий в зоне окна (Савин В.К., 2005: 224). В связи с этим созданы электрообогреваемые стеклопакеты на основе стекол с нанесенным электропроводящим покрытием, нагреваемым при пропускании по нему электрического тока.

Технология производства электрообогреваемых стеклопакетов имеет ряд особенностей, недостаточно изложена в специальной литературе и является ноу-хау их производителей. Поэтому разработка и изготовление необходимого технологического оборудования и средств контроля параметров электрообогреваемых стеклопакетов весьма актуальны. При этом для разработки конструкций на основе энергоэффективного поверхностно-распределенного способа обогрева с использованием тонкопленочных обогревателей требуется выполнение комплексных исследований их электро- и теплофизических характеристик с целью определения оптимальных параметров конструкции. Для проведения электрических испытаний обогреваемых стеклопакетов целесообразно разработать методы

их испытания, так как стандартных методик не существует.

С течением времени металлопластиковые окна с обычными стеклопакетами постепенно вытесняют энергосберегающие светопрозрачные конструкции из ПВХ. Их назначение – эффективно противостоять потерям тепла через оконные проемы, доля которых в общих теплопотерях наружными ограждениями зданий довольно велика и составляет до 40%. Энергосберегающие стеклопакеты, изготавливаемые по новым технологиям, позволяют снизить эти потери на 30–40%.

Энергосберегающие окна почти ничем не отличаются от обычного стекла. Единственное отличие – это напыление, которое удерживает тепловую энергию внутри помещения. Пространство между стеклами могут быть наполнены инертным газом аргоном или вакуумом. Газ или вакуум обеспечивает дополнительное сохранение энергии.

Существует несколько путей потери тепла: теплопроводность самого стекла, потери тепла, обусловленные конвекцией воздуха, инфракрасное излучение. Теплосберегающие свойства окон во многом зависят от типа и качества профиля, но он занимает лишь небольшую долю площади оконного проема. Все остальное пространство составляет стеклопакет, и именно его характеристики определяют, насколько комфортно будет в доме зимой и летом.

Поскольку площадь остекления составляет не менее 80% от размера всего оконного блока из ПВХ (оставшиеся 20% и менее приходится на несущие профили), то теплопроводность конструкции почти полностью зависит от набора элементов стеклопакета:

типа остекления, количества стекол в пакете, расстояния между ними, материала рамки, а также разновидностей газовой среды между стеклами.

В них используются простые стекла, являющиеся, скорее, проводниками тепла, чем изоляторами. Отсюда и холодная внутренняя поверхность остекления в зимнее время (при температуре на улице +26 °С и в комнате +20 °С, температура внутренней поверхности составляет около +5 °С), поэтому при высокой влажности в помещении обильно выпадает конденсат (Фокин В. М., 2011: 148). При установке в домах герметичных окон из ПВХ, вместо старых деревянных, нарушается естественный воздухообмен в помещениях. Влажность воздуха возрастает, создаются благоприятные условия для

возникновения точки росы, в результате водяной пар конденсируется на холодных стеклах.

Температура внутренней поверхности энергосберегающего стеклопакета составляет 11–14 °С (при –26 °С снаружи и +20 °С в помещении) (Фокин В. М., 2011: 123). При слишком высокой влажности воздуха это обстоятельство не избавляет от выпадения конденсата, но значительно уменьшает его количество.

При двух стеклах в пакете между ними образуется 1 камера, при трех – 2 камеры, заполняемые воздухом либо инертными газами. Двухкамерная конструкция всегда «теплее» однокамерной. Расстояние между стеклами 1-камерного пакета составляет от 6 до 16 мм, 2-камерного – от 6 до 12 мм в зависимости от типа профиля. Просвет менее 6 мм – это признак дешевого «холодного» окна, где близко расположенные друг к другу стекла активно обмениваются теплом (Горчаков Г.Н., 2005: 306).

К стеклопакетам неприменимы традиционные способы утепления наружных стен и перекрытий, поскольку они должны пропускать достаточное количество дневного света. С помощью новых технологий в энергосберегающих конструкциях внедрены решения, снижающие их теплопроводность. Как известно, тепловая энергия распространяется 2 путями:

1. Лучистый. Все источники тепла и нагретые предметы выделяют инфракрасное излучение, интенсивность которых зависит от температуры поверхности.

2. Конвективный. Осуществляется прямой теплообмен посредством нагреваемого (или охлаждаемого) воздуха.

Простое стекло – легко преодолеваемое препятствие для инфракрасного излучения. Пропускную способность характеризует коэффициент эмиссии, равный 0,87 у традиционных окон (при максимальном значении – 1) (ГОСТ 26302 – 93, 1994: 3). Для снижения данного значения используется методика нанесения на стекло различных прозрачных покрытий, отражающих инфракрасные лучи, в частности: напыление серебра либо сульфидов цветных металлов, приклеивание специальных энергосберегающих пленок. В обычных стеклопакетах рамка, идущая по периметру остекления, делается из алюминия и является мостиком холода. В более современных конструкциях стоит полимер-композитная или стальная рамка в обрамлении пластика, снижающего теплопроводность.

Энергосберегающие стекла – это стекла, которые с помощью нанесения тонкого металличе-

ского напыления превращаются в инфракрасные зеркала, отражающие только инфракрасные (тепловые) лучи, не оказывая большего, чем обычное оконное стекло, сопротивления видимому свету. По-другому эти стекла называют селективными (отражающими только определенную часть диапазона электромагнитных волн), низкоэмиссионными (имеющими низкую излучательную способность) или теплосберегающими. Наносимое на стекло покрытие состоит из оксидов металлов или цветных металлов и содержит свободные электроны (Рис. 1). За счет явлений электропроводности и интерференции такие стекла получают возможность отражать только тепловое (инфракрасное) излучение. Энергосберегающие свойства таких стекол характеризуются излучательной способностью (эмиссионным коэффициентом).

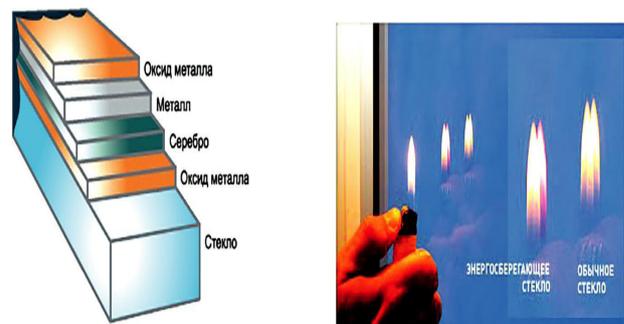


Рисунок 1 – Состав энергосберегающего стекла

Вне зависимости от количества камер в пакете присутствует одно энергосберегающее стекло с односторонним напылением. Для продления срока службы отражающего слоя его ставят со стороны улицы, повернув напылением внутрь первой камеры. Различают следующие виды энергосберегающих слоев:

- К-покрытие. Его называют твердым из-за высокой прочности и устойчивости к механическим воздействиям. Представляет собой окись различных металлов и наносится на горячую поверхность во время изготовления стекла.

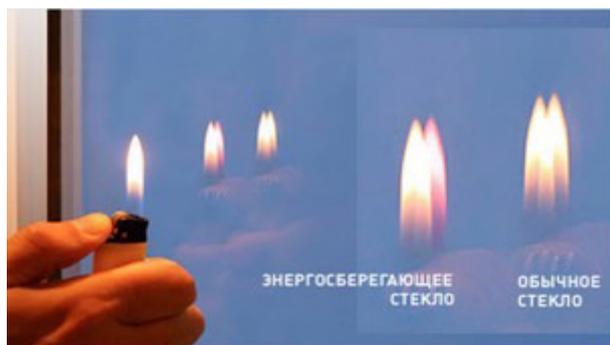
- Двухслойное I-покрытие. Подвержено разрушению от механического воздействия, поэтому считается мягким. Первый слой из серебра напыляется на готовое стекло в условиях вакуума, второй слой состоит из оксида титана и является защитным (Девятаева Г.В., 2005: 114).

Механические повреждения грозят покрытиям лишь в условиях производства, после сборки

стеклопакета они оказываются внутри камеры и не могут повредиться. С точки зрения рядового пользователя обе разновидности отражающих слоев одинаково эффективны, небольшая разность эмиссии на практике незаметна. При условии, что зимой на улице температура воздуха составляет  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а внутри дома  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура на поверхности К-стекла составит  $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ , I-стекла –  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fisher-Vanden K., 2006: 692).

Коэффициент теплопроводности однокамерного энергосберегающего стеклопакета составляет от  $0,6\text{--}0,82\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  (по информации разных производителей) против  $0,47\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  у традиционных ПВХ окон с одной камерой (Fisher-Vanden K., 2006: 695).

В результате коэффициент эмиссии светопропускающей поверхности снижается до  $0,17\text{--}0,2$ . Это значит, что около 80% инфракрасного излучения, попадающего на энергосберегающее стекло, отражается обратно. При этом прозрачность стеклопакета практически не страдает, не менее 72% светового потока проходит сквозь невидимую преграду. Уменьшение прозрачности на 28% практически незаметно для человеческого глаза. Этот показатель для обычного оконного стекла равен  $0,835$ , а у энергосберегающего стекла составляет  $0,04$  (ГОСТ 30733 – 2000: 2001, 6). Внешне для человеческого глаза, нечувствительного к инфракрасному излучению, низкоэмиссионные стекла ничем не отличаются от обычного оконного стекла, но если провести опыт с огнем, то отличия будут видны (Рис. 2).



**Рисунок 2** – Отличие энергосберегающего стекла от обычного стеклопакета

Закачка инертных газов – аргона или криптона в камеры между стеклами – это попытка уменьшить потери теплоты от конвективного теплообмена.

В оконных блоках с воздушными прослойками процесс протекает следующим образом.

Нагретый воздух помещения омывает поверхность стекла и отдает ему тепло. При обычном остеклении теплообмен интенсивнее из-за низкой температуры поверхности, при использовании энергосберегающих стекол тепла передается меньше. Воздух внутри камер прогревается и продолжает передачу тепла к следующему стеклу и далее, наружу. Значительную роль играет ширина камеры. Когда она велика, большой объем воздуха между стеклами способен принять и передать большее количество тепловой энергии. При слишком малом расстоянии между стеклами возникает прямая передача теплоты. Поэтому производителями выбрано оптимальное расстояние из диапазона  $6\text{--}16\text{ мм}$ .

Замена обычного воздуха в камерах инертным газом следующий эффект: аргон и криптон обладают меньшей теплопроводностью, отчего интенсивность конвективного теплообмена снижается. В отличие от воздуха, газы не содержат влаги, передающей тепло и способной к конденсации.

Заполнение производится на собранном изделии посредством 2 трубочек: по одной газ закачивают, из второй выходит вытесняемый воздух, в конце трубки герметизируют. Производители, закачивающие аргон в стеклопакеты, декларируют уменьшение теплопотерь на 10%. На практике эта величина настолько малозаметна, что в процессе эксплуатации пользователи не увидят разницы между стандартным остеклением и наполнением инертным газом.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что закачка улучшает характеристики светопропускающих конструкций с энергосберегающим покрытием и практически бесполезна в обычных окнах.

Технология изготовления стеклопакетов с подогревом происходит по новейшей методике и на вид не отличается от традиционного остекления. Теплонагревателем служит токопроводящий слой, состоящий из оксидов металлов нанесенный высокотемпературным методом напыления на внутреннюю поверхность стекла. После такой процедуры на стекле получается слабовыраженная желтоватая тонировка, со светопропускаемостью 84%. Далее к стеклу крепят медные контакты и собирают в готовый стеклопакет. Токопроводящие элементы находятся во внутренней части окна и не могут контактировать с человеком. Внутри рамы прокладывают изолированные провода, обладающие повышенной электроизоляцией. Они подключаются к термодатчику, установленному на стекле или

к комплексной автоматизированной системе. С их помощью можно устанавливать нужную температуру нагрева поверхности стекла для каждого помещения. Электробезопасность окон обеспечивается наличием устройства защитного отключения.

Подогреваемые окна могут использоваться как основной источник обогрева дома. Но для максимального эффекта в больших помещениях с высокими потолками, лучше применять его с другими видами обогрева: инфракрасными излучателями или с системой «теплый пол». Окна с подогревом можно установить нагрываемым стеклом вовнутрь, для обогрева помещений дома или зимнего сада. Можно установить стекла снаружи для предотвращения скапливания снега и льда на прозрачных крышах. Есть третий вариант – оба стекла в пакете нагреваются.

Нагреватель электрообогреваемых стекол представляет собой сетку проводящих электродов, которая наносится методом шелкографии с применением серебряной пасты и нередко используется в автомобилестроении, или прозрачное электропроводящее покрытие, наносимое на стекло. В качестве такого покрытия можно использовать уже упоминаемые низкоэмиссионные покрытия, которые наносят в процессе производства стекла, что позволяет резко повысить их качество. Выпускаемые стекла с серийными низкоэмиссионными покрытиями имеют значения удельного поверхностного сопротивления в диапазоне от 5 до 300 Ом/см<sup>2</sup>; стекла I-типа – 4...10 Ом/см<sup>2</sup> и наилучшим образом подходят для изготовления электрообогреваемых изделий, однако их применение возможно лишь в ламинированных конструкциях из-за низкой механической и коррозионной стойкости материала покрытия (Bellia L., 2011: 1990).

Стекла с покрытиями К-типа имеют близкие значения поверхностного сопротивления в диапазоне от 90 до 100 Ом/см<sup>2</sup>, что также удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электрообогреваемому стеклу. Для нанесения таких покрытий на практике широко используются аэрозольный и парофазный методы химического осаждения, а также вакуумный метод магнетронного напыления покрытий на основе In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Sn) и ZnO (Al, In-легирующие добавки) или многослойных структур «диэлектрик – металл – диэлектрик» (Bellia L., 2011: 1992). Проводящее покрытие на стекле практически не снижает его коэффициент светопропускания.

Электрически нагреваемое стекло может ис-

пользоваться как в стеклопакетах, так и в составе триплекса, выполняющего функцию защитного остекления. Технологический процесс производства стеклопакетов с электрообогревом практически не отличается от производства обычных стеклопакетов. Основное различие между ними заключается в наличии системы электропитания и, при необходимости, контроля температуры. Температурный датчик позволяет контролировать температуру обогреваемого стекла и исключить возможность перегрева изделия.

Электрообогреваемые стеклопакеты с удельной электрической мощностью от 500 до 2000 Вт/м<sup>2</sup> способны разогреть стекло до температуры 150 °С, поэтому они выполнены из закаленного стекла. Иначе температурные перепады, возникающие в процессе работы тонкопленочного обогревателя, могут разрушить стекло. Для отожженного стекла вероятность разрушения появляется уже при перепаде температуры, равном 50°С.

Закаленное стекло представляет собой стекло, подвергнутое специальной термической обработке – закалке, в результате которой в объеме стекла возникают закономерно распределенные внутренние напряжения, повышающие механическую прочность стекла и обеспечивающие особый (безопасный) характер его разрушения. При степени закалки, достигаемой в промышленных условиях, предел прочности стекла при изгибе составляет 250 МПа, то есть более чем в 5 раз выше, чем у обычного листового стекла. При этом упругость закаленного стекла, характеризуемая стрелой прогиба, возрастает в 4-5 раз (Prasad Bhukya. 2014: 2890). При горизонтальном способе закалки стекла на твердых опорах листы стекла подаются на горизонтальный роликовый конвейер и направляются в печь, где они нагреваются ассиметрично: сверху более интенсивно, чем снизу. Вследствие образующейся разницы температур по толщине стекла возникает его температурная деформация – стекло изгибается выпуклостью вверх, не касаясь своей поверхностью валков роликового конвейера.

Охлаждение листов в обдувочном устройстве также ассиметрично: оно более интенсивно сверху. В результате этого листы стекла вновь приобретают плоскую форму. Температура закалки плоского стекла составляет 630...670 °С, продолжительность нагревания (на 1 мм толщины стекла) – 35-40 с (ГОСТ 25535-2013, 2016: 3). Оптические свойства стекла (коэффициент направленного пропускания света, светостойкость), а также его теплофизические эксплуата-

ционные свойства, такие как теплостойкость и морозостойкость, после закаливания практически не изменяются. Закаленное стекло характеризуется стабильностью свойств при длительной эксплуатации в обычных условиях (от  $-60$  °С до  $+150$  °С).

Механические свойства и термостойкость закаленного стекла зависят от степени закалки. В связи с этим большое значение при его производстве приобретает правильный выбор условий термической обработки (нагрева и охлаждения), параметрами которой являются скорость нагрева стекла, максимальная температура нагрева (температура закалки), интенсивность и равномерность охлаждения. Недостаточный нагрев стекла вызывает его разрушение при закалке, слишком длительный нагрев – деформацию изделия. Интенсивность охлаждения, зависящая от толщины стекла и коэффициента теплоотдачи, играет немаловажную роль в процессе закалки.

Увеличения интенсивности теплоотдачи (охлаждения) стекла достигают выбором закалочных сред и способа охлаждения. Наиболее распространенной средой при производстве закаленных стекол является воздух: закалку стекла осуществляют с помощью обдувочных решеток, подающих сжатый воздух перпендикулярно к поверхности листа через многочисленные отверстия (сопла) круглого или щелевого типа. Наряду со скоростью охлаждения, большое значение при производстве закаленных стекол приобретает равномерность их охлаждения. Неравномерное охлаждение снижает качество стекла и выход годной продукции, вызывая деформацию и разрушение стекол, образование так называемых «закалочных пятен», оптические искажения, снижает стабильность механических свойств стекол и т. д.

При прохождении электрического тока через прозрачный электропроводящий слой выделяется тепловая энергия в инфракрасном диапазоне спектра излучения, на который приходится до 95 % выделяемой тепловой энергии во всем электрообогревателе. При этом существенен учет напряженно-деформированного состояния нагреваемого стекла с токопроводящим слоем (Рис. 3).

Анализ полученных результатов показывает, что уровень растягивающих напряжений в реальном диапазоне перепада температур значительно ниже прочности стекла, следовательно, напряжения, обусловленные неравномерностью температуры по толщине стекла, не могут слу-

жить основной причиной его разрушения. В то же время этот уровень напряжений нужно учитывать при их суммировании с напряжениями от неравномерности температурного поля по площади стекла. В результате исследований выявлено, что максимальные растягивающие напряжения возникают на свободных кромках стекла и достигают значений, сравнимых с прочностью стекла, что может привести к разрушению нагреваемого стекла. Анализ напряженно-деформированного состояния нагреваемого стекла с токопроводящим покрытием позволяет определить максимальную температуру нагрева стекла и соответствующий ей предельно допустимый перепад температур между центральной зоной и опорной кромкой стекла, при котором уровень действующих напряжений является безопасным и не вызывает разрушения стекла. При проведении исследований электро- и теплофизических характеристик стеклопакетов были выполнены измерения токов утечки, мощности стеклопакетов при рабочей температуре и сопротивления токопроводящих дорожек.

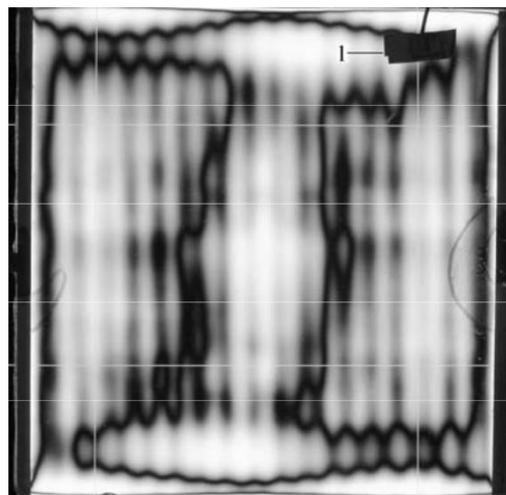


Рисунок 3 – Иллюстрация напряженных состояний, возникающих в стеклопакетах

Использование закаленных стекол с низкоэмиссионными покрытиями в качестве электрообогревателя позволяет обеспечить заданную температуру на внутренней поверхности стеклопакета. Эффективность энергосберегающего стекла настолько высока, что установка однокамерного стеклопакета позволит сохранить в помещении на 25 % больше тепла, чем сохраняет двухкамерное металлопластиковое окно с обыч-

ными стеклами. Необходимо учитывать, что двухкамерные окна почти в 2 раза тяжелее, чем однокамерные, а это дополнительная нагрузка на стену. Такое улучшенное однокамерное окно пропускает видимый свет почти на 10 % лучше, чем обычное двухкамерное, задерживая при этом вредный ультрафиолет.

Стоимость электрообогрева окон зависит от заданного результата, мощность потребления электроэнергии может составить от 50 – 420 Вт на 1 м<sup>2</sup>. Максимальная температура на поверхности стеклопакета 65°C, должна быть не выше 45°C, чтобы не выгорали шторы, не пересыхали комнатные растения (Mendiola J., 2017: 125). В межсезонье, когда температура не настолько низкая, чтобы включать традиционное отопление, окна с подогревом позволяют поддерживать оптимальную температуру в помещениях. При этом ночью, когда наружная температура падает вплоть до заморозков, на обогреваемых стеклопакетах не образуется конденсат. В помещениях с обычными стеклопакетами приходится включать отопление раньше либо использовать электрообогреватели, что сопряжено с рядом неудобств и не всегда возможно. Теплое стекло можно использовать в качестве локального отопительного прибора, если выполнить из него внутреннюю перегородку, ширму или панно.

В архитектуре нового поколения подогреваемое стекло находит широкое применение. Если подключить стеклопакеты к системе «умный дом», то подогрев происходит по расписанию. Им управляют погодные датчики, реагирующие в частности на наружную температуру. Кроме того, такие стеклопакеты можно включить в охранную систему дома. Поскольку при разбитии подогреваемого стекла происходит разрыв контакта, это дает возможность подать сигнал на центральный блок охранной сигнализации. При этом на самом стекле нет никаких дополнительных датчиков разбития стекла – задействован только нагревательный слой.

При желании и наличии средств из стекла с подогревом можно выполнить стены постройки. Сложно найти более подходящий материал для панорамного остекления. Стекла с подогревом отлично показали себя в крытых бассейнах, где излишняя влага и отсутствие возможности установки каких-либо обогревательных приборов приводит к запотеванию обычных стекол. Электрообогреваемые стекла дают полную свободу архитектуры. Они выручают во многих случаях, например, когда необходимо установить стеклопакет в глубокой нише, где нет достаточной циркуляции воздуха.

Также популярны не только окна, но и двери с подогревом. Стеклопакеты с подогревом позволяют владельцу выбирать оптимальный режим работы системы, что положительно сказывается на экономии электроэнергии и создания комфортных условий в доме.

Производятся электрообогреваемые стеклопакеты в большинстве случаев под производителем металлопластиковых, алюминиевых и деревянных конструкций.

Электрообогреваемые стеклопакеты – уникальный продукт, который позволяет посмотреть на рынок светопрозрачных конструкций не только как на красивый элемент интерьера и доступа дневного света, но и систему отопления. Стеклопакеты комплектуются индивидуальной электроникой (блоками питания). Дополнительно к ним, по желанию комплектуются блоки управления (термодатчик + контроллер), или «умными» системами управления климат-контроля с недельными программаторами.

Огромное преимущество электрообогреваемых стеклопакетов в том, что они применимы на вторичном рынке, который составляет до 90% продукта. Рассматриваемые стеклопакеты не требуют особых навыков в монтаже, их замена происходит так же, как и замена обычных стеклопакетов, добавляется отверстие в раме для вывода контактных проводов и подвод электричества от ближайшей точки доступа (розетка, выключатель). Стеклопакет излучает дополнительное, очень комфортное ИК-излучение, так как стекло – это материал дающий длинноволновое излучение полезное для любой живой клетки, не выпаривающее жидкость из неё, что нельзя сказать, например, о таком материале, как металл.

В последние годы в Казахстане значительно расширился ассортимент архитектурно –строительных стекол. Появилось большое количество тонированных стекол, стекол, окрашенных в массу, стекол с полимерными пленками, многослойных стекол, узорчатых и армированных стекол, стеклопакетов, ситалловых и стеклокерамических плиток и т.д. архитектурно – строительного назначения как зарубежного, так и отечественного производства. Каждый из этих видов продукции обладает своими характеристиками, отличающими его от остальных, полезными для потребителя свойствами: архитектурными, декоративными, теплозащитными, огнезащитными, прочностными и т.д. В то же время все они должны отвечать некоторым общим требованиям, обеспечивающим выполне-

ние ими своих функциональных обязанностей в качестве строительных материалов, а также безопасность их применения, взаимозаменяемость и согласованность с другими видами продукции.

Сравнение тепловых характеристик окон с энергосберегающими стеклами и с обычными стеклопакетами показывает, что однокамерный стеклопакет с энергосберегающим стеклом эффективнее двухкамерного стеклопакета. При этом стеклопакеты с I – стеклами более энергоэффективны, чем с К – стеклами. Если сравнить тепловые свойства разных стеклопакетов при температуре воздуха за окном  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$  и температуре воздуха внутри помещения  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то они имеют разные показатели:

- Обычный стеклопакет. Температура на внутреннем стекле  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Стеклопакет с К стеклом. Температура на внутреннем стекле  $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Стеклопакет с I- стеклом. Температура на внутреннем стекле  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Шишкин И.В., 2014: 53).

По результатам сравнения можно сделать вывод, что металлопластиковое окно, изготовленное с использованием обычного двухкамерного стеклопакета, уступает по теплосбережению окну, изготовленному с использованием

однокамерного стеклопакета, в котором установлено одно низкоэмиссионное (энергосберегающее) стекло. Покрытие свободно пропускает солнечную коротковолновую энергию в помещение, в то же время отражает длинноволновое тепловое излучение, например, от нагревательных приборов, внутрь помещения, не давая ему уйти наружу.

Окна, заполненные аргоном, будут хорошо справляться с теплосбережением на протяжении длительного периода – более 10 лет, но этот срок зависит и от качества изготовления стеклопакета, целостности первичного герметика. Проведенные исследования показали, что аргон склонен к испарению, но на протяжении года количество утекающего газа равняется примерно 3% от изначально закачанного.

Таким образом, применение низкоэмиссионного стекла заметно сокращает теплопотери, позволяя экономить на обогреве помещений. В частности, теплосберегающие стекла позволяют сократить потери энергии более чем на 70%. Все это позволяет утверждать, что энергосберегающие стекла являются новым витком в разнообразных программах для уменьшения тепловых потерь и могут быть использованы в целях энергосбережения в жилых и производственных зданиях.

### Литература

- 1 Айрапетова Г.А., Несветаева Г.В. Строительные материалы. Учебно-справочное пособие (Серия «Строительство»). – Ростов Н/Д: Феникс, 2004. – 608 с.
- 2 Афанасьев А.А., Данилов Н.Н., Копылов В.Д. и др. Технология строительных процессов. – М.: Высшая школа, 2000. – 463 с.
- 3 Бойко М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1993. – 207 с.
- 4 Горчаков Г.Н., Баженов Ю.М. Строительные материалы. Учеб. для вузов. (ред. Строительные материалы и конструкторы). – М.: Стройиздат, 2005. – 688 с.
- 5 ГОСТ 25535-2013. Стекло и изделия из него. Методы определения термостойкости. – М.: Стандартинформ, 2016. – 8 с.
- 6 ГОСТ 26302 – 93. Стекло. Методы определения коэффициентов направленного пропускания и отражения света. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 6 с.
- 7 ГОСТ 30733 – 2000. Стекло с низкоэмиссионным твердым покрытием. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 11 с.
- 8 Девятаева Г.В. Технология реконструкции и модернизации зданий. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 480 с.
- 9 Диомидов М.В., Низовцев М.И., Терехов В.В., Терехов В.И. Исследование теплообмена вентилируемого окна // Промышленная теплотехника.- 2002. – №2-3. – С. 40-44.
- 10 Казакевич А.В. Коррозионная стойкость и совместимость материалов несущих конструкций навесных фасадов // Кровля, фасады, изоляция. – 2008. – № 3. – С. 101-104.
- 11 Савин В.К. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение. – М.: Лазурь, 2005. – 425 с.
- 12 СП 23-101-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 174 с.
- 13 Федоров В.В. Реконструкция и реставрация зданий. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 208 с.
- 14 Фокин В. М., Ковылин А.В., Чернышов В. Н. Энергоэффективные методы определения теплофизических свойств строительных материалов. – М.: Спектр, 2011. – 155 с.
- 15 Шишкин И.В. История листового стекла. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 101 с.
- 16 Abdelaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S. (2011) A Review on Energy Saving Strategies in Industrial sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 150–168.

- 17 Atalla T., Bean P. (2017) Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation. *Energy Economics*, vol. 62, pp. 217-229.
- 18 Bellia L., Bisegna F., Spada G. (2011) Lighting in indoor environments: visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 1984-1992.
- 19 Bondu A., Dachraoui A. (2015) Realistic and very fast simulation of individual electricity consumptions. *Int. Jt. Conf. Neural Networks. IEEE*, pp. 1-8.
- 20 Fisher-Vanden K., Jefferson G.H., Jinghui M., Jianyi X. (2006) Technology development and energy productivity in China. *Energy Economics*, vol. 28 (5), pp. 690-705.
- 21 Fontoynt M., Ramanarivo K., Soreze T., Fernez G., Skov K.G. (2016) Economic feasibility of maximising daylighting of a standard office building with efficient electric lighting. *Energy and Buildings*, vol. 110, pp. 435-442.
- 22 Ihm P., Nemri A., Krarti M. (2009) Estimation of lighting energy savings from daylighting. *Build. Environ.*, vol. 44, pp. 509-514.
- 23 Galasiu A.D., Newsham G.R., Suvagau C., Sander D.M. (2007) Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. *Eng. Soc.*, vol. 4, pp. 7-29.
- 24 Lim G., Barry M., Keumala N., Ghafar N. (2017) Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 141, pp. 175-185.
- 25 Linhart F., Scartezzini J.L. (2010) Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 981-989.
- 26 Mendiola J., Grünwald P., Eyre N. (2017) The diversity of residential electricity demand – A comparative analysis of metered and simulated data. *Energy and Buildings*, vol. 151, pp. 121-131.
- 27 Prasad Bhukya, Dr. Debasish Basak (2014) Energy Saving Technologies in Industries – An overview. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, pp. 2888-2894.
- 28 Sun J.W., Ang B.W. (2000) Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy*, vol.25 (12), pp. 1177-1188.
- 29 Tewari S.K. (2014) Energy conservation initiatives adopted in mines & plant. *The Indian Mining & Engineering Journal*, vol.53, pp. 16-17.
- 30 Wheeler D. (2012) Energy+ Country Performance Ratings 2001-2010. Center for Global Development Working Paper. 301 P.

#### References

- 1 Ajrapetova G.A., Nesvetaeva G.V. *Stroitel'nye materialy. Uchebno-spravochnoe posobie (Serija «Stroitel'stvo»)* [Construction Materials. Educational and reference manual (Series «Construction»)]. – Rostov N/D: Feniks, 2004. – 608 P.
- 2 Afanas'ev A.A., Danilov N.N., Kopylov V.D. i dr. *Tehnologija stroitel'nyh processov* [Technology of construction processes]. – M.: Vysshaja shkola, 2000. – 463 P.
- 3 Bojko M.D. *Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont zdaniy i sooruzhenij* [Maintenance and repair of buildings and structures]. – M.: Strojizdat, 1993. – 207 s.
- 4 Gorchakov G.N., Bazhenov Ju.M. *Stroitel'nye materialy. Ucheb. dlja vuzov. (red. Stroitel'nye materialy i konstrukcii)* [Construction Materials. Textbook for universities. (ed., Building materials and constructions)]. – M.: Strojizdat, 2005. – 688 s.
- 5 GOST 25535-2013. *Steklo i izdelija iz nego. Metody opredelenija termostojkosti* [Glass and articles thereof. Methods for determination of heat resistance]. – M.: Standartinform, 2016. – 8 s.
- 6 GOST 26302 – 93. *Steklo. Metody opredelenija koeficientov napravlenno propuskaniya i otrazhenija sveta* [Glass. Methods for determining the coefficients of directional transmission and reflection of light]. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1994. – 6 s.
- 7 GOST 30733 – 2000. *Steklo s nizkoemissionnym tverdym pokrytiem* [Glass with low-emissive hard coating]. – M.: GUP CPP, 2001. – 11 s.
- 8 Devjataeva G.V. *Tehnologija rekonstrukcii i modernizacii zdaniy* [Technology of reconstruction and modernization of buildings]. – M.: INFRA-M, 2005. – 480 s.
- 9 Diomidov M.B., Nizovcev M.I., Terehov B.B., Terehov V.I. (2002) *Issledovanie teploobmena ventiliruemogo okna* [Investigation of the heat transfer of a ventilated window]. *Promyshlennaja teplotehnika*, no. 2-3, pp. 40-44.
- 10 Kazakevich A.V. (2008) *Korroziionnaja stojkost' i sovmestimost' materialov nesushhih konstrukcij navesnyh fasadov* [Corrosion resistance and compatibility of materials of load-bearing structures of hinged facades]. *Krovlja, fasady, izoljacija*, no. 3, pp. 101-104.
- 11 Savin V.K. *Jenergoperenos. Jenergojeffektivnost'. Jenergoberezenie* [Energy transfer. Energy efficiency. Energy saving.]. – M.: Lazur', 2005. – 425 P.
- 12 SP 23-101-2004. *Svod pravil po proektirovaniju i stroitel'stvu. Proektirovanie teplovoj zashhity zdaniy* [Code of rules for design and construction. Designing of thermal protection of buildings]. – M.: FGUP CPP, 2004. – 174 P.
- 13 Fedorov V.V. *Rekonstrukcija i restavracija zdaniy* [Reconstruction and restoration of buildings]. – M.: INFRA-M, 2003. – 208 P.
- 14 Fokin V. M., Kovylin A.V., Chernyshov V. N. *Jenergojeffektivnye metody opredelenija teplofizicheskikh svojstv stroitel'nyh materialov* [Energy-efficient methods for determining the thermophysical properties of building materials]. – M.: Spektr, 2011. – 155 P.

- 15 Shishkin I.V. Istorija listovogo stekla [History of flat glass]. – М.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2014. – 101 P.
- 16 Abdelaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S. (2011) A Review on Energy Saving Strategies in Industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 150–168.
- 17 Atalla T., Bean P. (2017) Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation. *Energy Economics*, vol. 62, pp. 217-229.
- 18 Bellia L., Bisegna F., Spada G. (2011) Lighting in indoor environments: visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 1984-1992.
- 19 Bondu A., Dachraoui A. (2015) Realistic and very fast simulation of individual electricity consumptions. *Int. Jt. Conf. Neural Networks. IEEE*, pp. 1-8.
- 20 Fisher-Vanden K., Jefferson G.H., Jingkui M., Jianyi X. (2006) Technology development and energy productivity in China. *Energy Economics*, vol. 28 (5), pp. 690-705.
- 21 Fontoynt M., Ramanarivo K., Soreze T., Fernez G., Skov K.G. (2016) Economic feasibility of maximising daylighting of a standard office building with efficient electric lighting. *Energy and Buildings*, vol. 110, pp. 435-442.
- 22 Ihm P., Nemri A., Krarti M. (2009) Estimation of lighting energy savings from daylighting. *Build. Environ.*, vol. 44, pp. 509-514.
- 23 Galasiu A.D., Newsham G.R., Suvagau C., Sander D.M. (2007) Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. *Eng. Soc.*, vol. 4, pp. 7-29.
- 24 Lim G., Barry M., Keumala N., Ghafar N. (2017) Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 141, pp. 175-185.
- 25 Linhart F., Scartezzini J.L. (2010) Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 981-989.
- 26 Mendiola J., Grünwald P., Eyre N. (2017) The diversity of residential electricity demand – A comparative analysis of metered and simulated data. *Energy and Buildings*, vol. 151, pp. 121-131.
- 27 Prasad Bhukya, Dr. Debasish Basak (2014) Energy Saving Technologies in Industries – An overview. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, pp. 2888-2894.
- 28 Sun J.W., Ang B.W. (2000) Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy*, vol.25 (12), pp. 1177-1188.
- 29 Tewari S.K. (2014) Energy conservation initiatives adopted in mines & plant. *The Indian Mining & Engineering Journal*, vol.53, pp. 16-17.
- 30 Wheeler D. (2012) Energy+ Country Performance Ratings 2001-2010. Center for Global Development Working Paper. 301 P.