

СЕЛЕКТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ СТЕКЛА И ОСТЕКЛЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены современные способы селективного регулирования направленного светопропускания стекла и остекленных конструкций в зависимости от угла падения световых лучей, выделены области науки и техники, где существуют нерешенные проблемы. Автором проводятся соответствующие исследования, по промежуточным результатам которых подана международная заявка на изобретение.

Ключевые слова: селективное регулирование в зависимости от угла падения световых лучей, самопроизвольное регулирование, направленное светопропускание, позонное распределение регулирования, смарт-стекло.

1. Современные способы селективного регулирования направленного светопропускания стекла и остекленных конструкций

Селективное регулирование направленного светопропускания остекленной конструкции в зависимости от угла падения световых лучей на приемную поверхность конструкции, когда этот угол изменяется во времени при движении источника света и/или остекленного объекта друг относительно друга, необходимо во многих областях науки и техники, в которых используются такие конструкции. Особенная потребность возникает при регулировании количества проходящей в помещения через остекленные световые проемы (окна и фонари) солнечной радиации – архитектура и строительство являются областями с наиболее востребованной необходимостью такого регулирования в зависимости от положения солнца по отношению к данному световому проему. Возможности подобного регулирования необходимо закладывать также в транспортном машиностроении при остеклении окон и других частей кузова (фюзеляжа и т. п.), в данном случае кроме положения солнца целесообразно учитывать и защиту водителя от отраженных бликов и света фар других автомобилей. Селективное регулирование направленного светопропускания в зависимости от угла падения световых лучей в некоторых случаях также требуется в осветительной аппаратуре, очках, окулярах, объективах и других светотехнических и оптических приборах.

Исследования направленного светопропускания стекла и остекленных конструкций основаны на правилах и закономерностях геометрической оптики и проводятся в области их при-

менимости, охватывающей ультрафиолетовый, видимый и инфракрасный диапазоны электромагнитного излучения. История возникновения и последовательное развитие геометрической оптики освещены, в частности, Г.С. Ландсбергом [1]. Наиболее важными для исследования направленного светопропускания являются такие законы геометрической оптики, как законы отражения и преломления света [1]. Закон отражения говорит о равенстве углов падения Θ_0 , рад, и направленного отражения Θ_ρ , рад:

$$\Theta_\rho = \Theta_0. \quad (1)$$

Закон Снелла (закон преломления света) устанавливает связь между углами падения и преломления:

$$\sin \Theta_0 = n \sin \Theta_n, \quad (2)$$

где n – относительный показатель преломления между двумя средами;

Θ_n – угол преломления, рад.

Также важными для исследования являются следующие следствия принципа Ферма [2]: прямолинейность распространения света в однородной среде, принцип обратимости распространения света, параллельность падающего на плоскопараллельную прозрачную пластину луча и выходящего из нее луча (при условии, что по обе стороны от пластины находится одинаковая среда), возможность создания линз и зеркал для фокусировки света. Р. Фейнман также [2] приводит пример определения фокусного расстояния для сферической поверхности, понятия мнимого и действительного изображений для различных типов линз и зеркал, формулу увеличения для линзы, свойства главных плоскостей оптической системы, эффекты сфе-

рической и хроматической аберрации, понятие разрешающей способности оптической системы, причины возникновения показателя преломления и понятие дисперсии, причины поглощения и рассеяния света.

Основные законы геометрической оптики в настоящее время выводятся из уравнения эйконала [3] – функции, определяющей оптическую длину пути светового луча между двумя точками, принадлежащими объекту и его изображению. Применение уравнения эйконала при расчетах оптических систем дает возможность путем дифференцирования по определенным параметрам получить выражения для основных видов аберраций. Метод эйконального приближения применяется также в ионной и электронной оптике, в квантовой механике и теории поля, в случаях аналогии рассматриваемых явлений с классической оптикой. Принцип Ферма считается словесной интерпретацией уравнения эйконала.

Таким образом, современная теория геометрической оптики применяется в самых различных областях науки и техники. На основе этой теории рассмотрим явления, наиболее тесно связанные с исследованиями направленного светопропускания остекленной конструкции в зависимости от угла падения световых лучей на ее приемную поверхность.

В любой остекленной конструкции независимо от области применения предполагается частичное пропускание падающего на нее светового потока, остальная часть отражается и поглощается. Известно [1], что на основании закона сохранения энергии падающий световой поток F_0 , лм, разделяется на три составляющие: отраженный F_r , проходящий F_t и поглощенный F_a световые потоки, лм:

$$F_0 = F_r + F_t + F_a. \quad (3)$$

Соответственно коэффициенты отражения ρ , пропускания τ и поглощения α света определенной длины волны связаны соотношением [1]:

$$\rho + \tau + \alpha = 1. \quad (4)$$

Наиболее распространенная область применения стекла – строительство, где источником света является солнечное излучение. Строительное стекло пропускает солнечное излучение с длиной волны от 280 до 2150 нм, т. е. ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную части спектра солнечного излучения, поэтому светопропускание стекла характеризуется множеством па-

раметров, основные из которых (схема светового и теплопропускания приведена на рисунке 1):

- LT – светопропускание в видимой области между 380 и 780 нм;
- UV – пропускание ультрафиолетового излучения от 280 до 380 нм;
- DET – прямое пропускание солнечной энергии между 300 и 2150 нм;
- SF – солнечный фактор, или общая пропускаемая энергия, включающая кроме прямой составляющей DET еще и энергию (EA), излучаемую стеклом внутрь помещения после поглощения им части падающей энергии, т. е. понятие светопропускания связано также и с понятием теплопропускания стекла.

На рисунке 1 также указаны: EA – количество энергии светового потока, поглощенное массой стекла, выраженное в процентах от общего количества энергии светового потока, падающего на поверхность стекла (поглощение происходит на каждом слое остекления); LR – отношение светового потока, отраженного от стекла, к падающему световому потоку (указано отражение только от первого слоя остекления); ER – процент солнечной энергии, отраженной от стекла (указано отражение только от первого слоя остекления).

Характеристики светопропускания стекла в других областях его применения по смыслу принципиально не отличаются от вышеперечисленных и выбираются в зависимости от вида источника света и важности тех или иных составляющих светового и теплопропускания именно для данной конкретной области. В зависимости от назначения остекленной конструкции требуются разные соотношения между тремя разделенными составляющими падающего светового по-

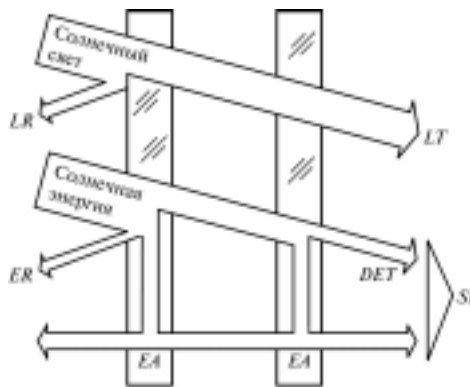


Рисунок 1. Схема светового и теплопропускания при двухслойном оконном остеклении

тока. Эти соотношения регулируются применением множества различных видов стекла:

- обычное (неполированное) стекло (Drown glass);
- полированное флоат-стекло (Float glass);
- солнцезащитное стекло (Solar control glass) – окрашенное в массу тонированное цветное стекло (Tinted glass) или стекло с рефлективным покрытием (Reflective glass);
- селективное низкоэмиссионное теплосберегающее *e*-стекло (Low *e*-glass), имеющее покрытие с низкой излучательной способностью и хорошо пропускающее видимое излучение и отражающее длинноволновое: *k*-стекло с твердым покрытием (Hard coat glass), наносимым пиролитическим методом и стойким к климатическим воздействиям, и *i*-стекло с мягким покрытием (Soft coated glass), наносимым методом плазменного напыления в вакууме и не стойким к климатическим воздействиям;
- «мягкое» самоочищающееся стекло (представлено в 2002 году английской компанией Pilkington) с тонким прозрачным покрытием из оксида титана, нанесенным методом магнетронного напыления, под воздействием ультрафиолетового излучения на пленке происходит химическая реакция, разлагающая органические соединения на поверхности стекла, далее продукты реакции смываются во время дождя;
- узорчатое (рифленое) стекло (Figured glass);
- армированное стекло (Wired glass);
- ламинированное (многослойное) стекло (Laminated glass);
- закаленное стекло (Toughed glass) нескольких разновидностей;
- оптическое стекло – высококачественное стекло со специальными спектральными и другими физико-химическими свойствами, в т. ч. фотохромными;
- покрытое пленками различного назначения стекло, позволяющее за счет специальных свойств пленок повысить безопасность (ударопрочность и безосколочность), теплосберегающие и солнцезащитные характеристики с возможностью регулирования распределения требуемой интенсивности проходящего солнечного излучения по ультрафиолетовому, видимому и инфракрасному диапазонам, улучшить защиту от микроволнового излучения в радиочастотном диапазоне (металлизированные пленки), от заглядывания, преобразовать внешний вид

помещений, создать эффект односторонней видимости, сократить солнечные блики, препятствовать распространению огня, повысить звукоизоляцию, сократить эксплуатационные расходы на отопление и кондиционирование.

Соотношение трех частей светового потока для каждого вида стекла зависит от угла падения световых лучей на приемную поверхность остекленной конструкции, т. е. изменяется при движении источника света и/или остекленной конструкции друг относительно друга. В случае остекления световых проемов в зданиях и сооружениях этот угол меняется в зависимости от географического положения объекта и времени года. В случае остекления транспортных средств угол падения дополнительно зависит также от условий движения самого транспортного средства.

Рассмотрим светопропускание листового стекла толщиной 4 мм (рисунок 2, масштаб М 10:1). Углы падения светового луча Θ_0 , отражения Θ_p и преломления луча Θ_n связаны между собой законами отражения и преломления – формулы (1) и (2). Кроме того, для плоскопараллельного стекла при одинаковой среде по обе стороны от него $\Theta_t = \Theta_0$, где Θ_t – угол наклона прошедшего луча.

Сплошными линиями на рисунке 2 изображены пути прохождения лучей при $\Theta_0 = 30^\circ$ (показатель преломления стекла принят $n = 1,5$ – среднее значение для большинства стекол), пунктирными – при $\Theta_0 = 60^\circ$. Соответственно, углы преломления луча составляют $\Theta_n = 19^\circ 28' 12''$ и $\Theta_n = 35^\circ 15' 36''$. Падающие световые потоки, приходящиеся на единицу площади, и связанные с ними интенсивности падающего излучения при обоих углах взяты одинаковыми. В наиболее распространенных случаях применения остекленных конструкций большая часть светового потока проходит через стекло, отражается и поглощается лишь незначительная часть.

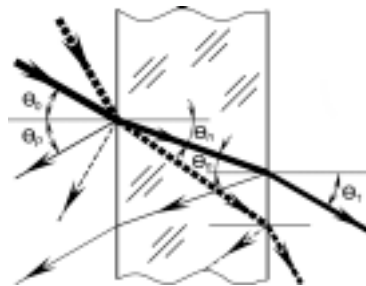


Рисунок 2. Схема световых лучей, падающих на плоскопараллельное стекло

Известно, что при увеличении угла падения луча на поверхность увеличивается коэффициент отражения γ , следовательно, увеличивается отраженная часть светового потока. Из рисунка 2 видно, что длина пути прохождения луча через материал, влияющая на величину поглощенного светового потока, также зависит от угла падения луча на поверхность (в данном случае длина пути увеличивается на 14%). Незначительная часть светового потока отражается, затем частично поглощаясь также при выходе луча из стекла от пограничной с окружающей средой поверхности (рисунок 2), причем это происходит многократно, однако этой частью потока из-за малости можно пренебречь. Итак, при увеличении угла падения за счет увеличения отраженного и поглощенного световых потоков уменьшается прошедший световой поток.

Таким образом, при изменении угла падения светового луча на поверхность стекла при одинаковой интенсивности падающего излучения изменяются соотношения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания излучения и, следовательно, изменяются значения характеристик светопропускания стекла в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, т. к. сами коэффициенты зависят от длины волны падающего излучения [1-2]. Кроме этого, при изменении угла падения луча на приемную поверхность в соответствии с правилами геометрической оптики изменяется и угол наклона прошедшего через остекленную конструкцию луча (рисунок 2).

Перечисленные признаки характерны для всех видов стекла, применяемых в различных остекленных конструкциях и оптических устройствах любых форм, размеров, свойств, назначения и количества слоев остекления.

При изменении угла падения света от источника прошедшая через остекленную конструкцию часть прямого (нерассеянного) света может вызвать и нежелательные явления, например появление бликов и излишне ярко освещенных поверхностей, а также неоптимальное распределение яркости внутри остекленного освещаемого объекта или устройства, ослепленность от прямых лучей и т. п. Поэтому при некоторых углах или диапазонах углов падения света на приемную поверхность остекленной конструкции появляется необходимость селективного регулирования светопропускания и

направления проходящих лучей в зависимости от угла падения лучей дополнительно к рассмотренному выше на примере рисунка 2 самопроизвольному изменению этих параметров при изменении угла падения.

Частично перечисленные выше проблемы можно решить некоторыми известными способами путем создания стекол со специальными свойствами, например фотохромными свойствами, а также применяя мультифокальные и варифокальные линзы для очков, градиентные и ступенчато-градиентные линзы в оптике и светотехнике.

В последние годы в Лондонском университетском колледже (University College London) создано «интеллектуальное» оконное термохромное стекло, которое меняет свои оптические свойства в зависимости от температуры воздуха – при температуре 29 °С за счет тончайшего покрытия из диоксида ванадия с добавками вольфрама стекло начинает отражать поступающее солнечное излучение инфракрасного диапазона (пленка при этой температуре переходит из полупроводникового состояния в металлическое и коэффициент отражения резко возрастает), таким образом, помещение защищается от перегрева.

В технологическом университете в Сиднее (University of Technology in Sydney) разрабатывают новый тип оконного ламинированного стекла, который пропускает солнечный свет, но блокирует высокую температуру путем поглощения инфракрасного излучения дешевой ламинирующей пленкой из LaV_6 , в отличие от дорогостоящих покрытий или дешевых, но с помутнением стекла, предназначенных для тех же целей.

В светотехнике в прожекторных светосигнальных и киноосветительных приборах применяются френелевские линзы, имеющие на одной из поверхностей ступенчатую структуру и состоящие из нескольких тороидальных тел, обрамляющих центральную часть линзы в виде обычной цилиндрической линзы. Радиусы и центры кривизны тороидальных поверхностей подбираются таким образом, чтобы все входящие фокальные лучи при выходе из линзы оказывались параллельными оптической оси линзы, т. е. френелевские линзы предназначены для регулирования направления световых лучей, а не светопропускания. Этот же принцип приме-

няется и в призматических светильниках с преломляющими элементами в виде призм с одной ступенчатой поверхностью, позволяющих получать оптимальную кривую светораспределения светильников.

Еще один способ регулирования светопропускания заключается в применении ламинированного стекла с регулируемой прозрачностью, изменяющего светопропускание в двух режимах за счет ориентации жидких кристаллов, содержащихся во внутреннем слое стекла. При пропускании электрического тока через этот слой жидкие кристаллы находятся в упорядоченном состоянии и стекло прозрачно, при отсутствии тока неупорядоченные кристаллы рассеивают свет и стекло непрозрачно.

Кроме подобных жидкокристаллических стекол группа исследователей Research Frontiers Inc. (США), а также другие компании в разных странах продолжают работы над созданием смарт-стекла различных видов (от англ. smart-glass, под этим названием подразумеваются все виды «интеллектуальных» стекол, изменяющих свои оптические параметры в зависимости от изменения параметров окружающей среды – освещения, температуры или пропускаемого через какой-либо слой стекла электрического тока). Смарт-стекло самостоятельно регулирует температуру и степень освещения в помещениях. Оптические параметры стекла Research Frontiers Inc. регулируются с помощью особых микрочастиц, которые при пропускании через специальное покрытие электрического тока организуются таким образом, что свет беспрепятственно проникает сквозь стекло, отсутствие тока «дезорганизует» частицы, и окно становится непроницаемым.

Светопроницаемость электрохромного многослойного смарт-стекла зависит от поведения ионового слоя, находящегося между двумя проводящими слоями, в данном случае в зависимости от пропускаемого тока можно плавно изменять оптические характеристики стекла, в отличие от многих других видов подобных стекол, работающих лишь в двух режимах, например многослойных стекол со стержнеобразными частицами, взвешенными в жидкостном слое стекла (принцип действия аналогичен – частицы при пропускании тока через жидкость занимают упорядоченное положение и пропускают свет), причем в этом случае переключение

режимов происходит значительно быстрее, чем в других смарт-стеклах.

Увеличение светопропускания или отражения достигается при применении «просветленной» оптики за счет интерференции, возникающей при отражении от передней и задней поверхностей тонких непоглощающих слоев материала соответственно с меньшим или большим показателем преломления по сравнению с таковым для стекла, наносимых на стекло с толщиной, зависящей от длины волны излучения.

Улучшение характеристик светопропускания в инфракрасной области (теплопропускания) обеспечивает применение в оконных конструкциях «теплого зеркала», предложенного Southwall Technologies Inc. (США) и отражающего тепловые лучи в сторону поступления – в отопительный период длинноволновое излучение возвращается в помещение, а в жаркое время года интенсивное солнечное излучение отражается обратно.

Все эти компании развивают дальше перечисленные выше способы регулирования характеристик светопропускания, работают над созданием новых способов, обеспечивающих оптимальные характеристики светопропускания и других оптических параметров остекленных конструкций в различных областях оптики и светотехники. Во всех рассмотренных случаях регулирование светопропускания осуществляется в зависимости не непосредственно от угла падения лучей, а от других факторов, т. е. отсутствует прямая зависимость светопропускания от угла падения лучей и не представляется возможности дополнительного (к рассмотренному выше на рисунке 2) регулирования характеристик светопропускания селективно в зависимости именно от угла падения лучей. То есть характеристики светопропускания изменяются в зависимости от угла падения лучей косвенно – только вследствие перераспределения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания при изменении угла падения, что не всегда приводит к оптимальным значениям характеристик светопропускания в тех или иных угловых диапазонах. Кроме того, большинство существующих способов регулирования предполагают одинаковые характеристики светопропускания по всей площади остекления, за исключением градиентных стекол и стекол с градиентными покрытиями, в которых характери-

стики изменяются градиентно при изменении углов падения лучей соответственно или за счет постепенного изменения показателя преломления стекла (позонно регулируются направления выходящих из остекленной конструкции лучей), или за счет постепенного изменения цвета и/или интенсивности окраски поверхности стекла (позонно регулируется количество проходящей энергии и ее спектральное распределение).

Существуют также и способы прямого регулирования характеристик светопропускания селективно в зависимости именно от угла падения лучей, но для этого остекленная конструкция должна содержать различные дополнительные устройства перераспределения светового потока, которые при изменении своего положения по отношению к самой остекленной конструкции могут обеспечивать регулирование проходящего светового потока, а в некоторых случаях и направлений проходящих лучей, в зависимости от угла их падения. Такие устройства широко распространены в архитектуре и строительстве для регулирования направленного светопропускания в зависимости от положения солнца по отношению к световым проемам. К ним относятся ставни, рольставни, сетки, гардины, шторы, ширмы, навесы, диафрагмы, подвижные решетки, горизонтальные или вертикальные сдвижные пластинчатые жалюзи с ручным или автоматическим управлением. Большинство из таких устройств регулируют светопропускание в двух режимах, «открыто» или «закрыто», и позволяют, кроме того, разделять площадь светового проема на две части с двумя разными режимами светопропускания за счет подъема-опускания по вертикали или сдвига влево-вправо по горизонтали.

Таким образом, только сочетание остекленной конструкции и дополнительных устройств перераспределения светового потока обеспечивает селективное регулирование направленного светопропускания в прямой зависимости от угла падения лучей на такую комбинированную конструкцию дополнительно к саморегулированию светопропускания из-за перераспределения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания.

В зависимости от используемого в конкретной остекленной конструкции вида стекла существует много способов обработки его поверхности для изменения оптических параметров, в

т. ч. показателя преломления, коэффициентов отражения, поглощения и пропускания, а следовательно, и общего направленного светопропускания остекленной конструкции. В числе других к таким способам дополнительной обработки поверхностей стекла относятся: механическая обработка поверхности стекла твердым инструментом, гравировка, химико-механическая обработка, полирование и шлифование, пескоструйная обработка, притирка, окрашивание, цифровая печать, электролиз, травление, матирование, серебрение, диффузия ионов или металлов в поверхность стекла, осаждение термически испаренного вещества, нанесение покрытия, например металлического и/или металлооксидного покрытия на горячее стекло методом пиролиза или на холодное стекло методом катодного распыления в магнитном поле при глубоком вакууме, обработка поверхности стекла с использованием электрической или волновой энергии, облучение различными частицами, сушка, дегидратация, дегидроксилирование, гидролиз, приклеивание пленок с заранее подготовленными оптическими и/или геометрическими характеристиками или прикрепление полос с разными показателями преломления и толщинами полос и т. д.

Проведенный патентный анализ в области исследований направленного светопропускания выявил некоторые патенты, в какой-то мере относящиеся к данной области [4-7].

2. Анализ существующих проблем регулирования направленного светопропускания и цель дальнейших исследований

В разных отечественных и зарубежных компаниях и научных учреждениях продолжают исследования с целью улучшения оптических, прочностных и других характеристик стекол, расширения разновидности стекол, обеспечения регулирования их солнцезащитных, теплопоглощающих, светорассеивающих и свето- и теплоотражающих свойств в требуемых диапазонах длин волн, а также разрабатываются новые способы обработки поверхности стекла и новые технологии производства стекла, в т. ч. с применением новых специальных добавок. Разрабатываются также новые пленки для простого и эффективного изменения светопропускания стекла в различных требуемых диапазонах путем наклеивания их на поверхность стекла.

Большинство из этих известных способов обеспечивает селективное регулирование направленного светопропускания остекленной конструкции в зависимости от угла падения световых лучей на ее приемную поверхность или самопроизвольно – только за счет изменения соотношения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания излучения при изменении углов падения, или же еще дополнительно к подобному самопроизвольному изменению параметров пропускания – регулирование в нескольких режимах за счет ручного или автоматического переключения этих режимов для изменения светопропускающих свойств стекла. При этом селективное регулирование не является плавным (гибким), не всегда приводит к оптимальным значениям характеристик светопропускания в тех или иных угловых диапазонах падения лучей на приемную поверхность конструкции. Особенные проблемы возникают в тех случаях, когда требуется зональное распределение характеристик регулирования светопропускания по площади остекления.

Наиболее прогрессивные с точки зрения регулирования светопропускания смарт-стекла регулируют температуру и степень освещения в помещениях по заранее заданным характеристикам, однако регулирование происходит не в непосредственной зависимости от изменения угла падения световых лучей на поверхность стекла, а в зависимости от изменения условий окружающей среды (температуры, уровня освещенности и т. п.), т. е. не могут оптимально регулировать именно направленное светопропускание в зависимости от углов падения лучей.

Сочетание остекленной конструкции и дополнительных устройств перераспределения светового потока обеспечивает селективное регулирование направленного светопропускания в прямой зависимости от угла падения лучей на такую комбинированную конструкцию дополнительно к саморегулированию светопропускания из-за перераспределения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания. Недостатком данного способа регулирования является необходимость применения дополнительных устройств для перераспределения световых потоков и их ручного или автоматического регулирования, что приводит к усложнению и удорожанию конструкций и к неудобствам пользования. Кроме этого, регулируемые уст-

ройства, например горизонтальные или вертикальные жалюзи, из-за сложной криволинейной траектории солнца не могут обеспечить оптимального регулирования светопропускания и направлений проходящих световых лучей при любой ориентации окна по сторонам света (для этого необходимы жалюзи с разным углом наклона ламелей по отношению к положению самого окна при разном азимуте его ориентации). Однако жалюзи имеют только горизонтальные и вертикальные разновидности. Позонное регулирование светопропускания при подъеме или сдвиге ламелей соответственно горизонтальных или вертикальных жалюзи также ограничено и доступно только в одном направлении (разделение на две области – верхнюю-нижнюю или правую-левую). Регулируемые устройства перераспределения светового потока сложны, а в некоторых случаях практически невозможны в применении, например, для криволинейных остекленных поверхностей – широко применяемых в строительстве и транспорте гнутых стекол (в цилиндрических, сферических и т. п. остекленных конструкциях), а также для наклонных остекленных поверхностей.

Таким образом, в настоящее время в области регулирования направленного светопропускания существуют следующие нерешенные проблемы:

- отсутствует теоретическое обоснование возможности принудительного регулирования направленного светопропускания остекленной конструкции в прямой зависимости от угла падения световых лучей на ее приемную поверхность без применения специальных дополнительных устройств перераспределения светового потока – в добавление к самопроизвольному регулированию за счет изменения соотношения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания излучения при изменении углов падения;

- регулирование светопропускающих свойств стекла в нескольких дискретных режимах не является плавным и не приводит к оптимальным значениям характеристик светопропускания в тех или иных угловых диапазонах падения лучей на приемную поверхность конструкции;

- только некоторые способы регулирования обеспечивают зональное, включая и градиентное, распределение характеристик светопропускания по площади остекления, в т. ч. и

с изменением спектра проходящего излучения, хотя при этом имеют другие недостатки;

– смарт-стекла оптимально регулируют температуру и степень освещения в помещениях, однако регулирование происходит не в прямой зависимости от углов падения лучей, а от изменения других параметров окружающей среды;

– применение дополнительных устройств перераспределения светового потока, например в оконных конструкциях, обеспечивает селективное регулирование направленного светопропускания в прямой зависимости от угла падения лучей, однако приводит к усложнению и удорожанию конструкций и к неудобствам пользования, к необходимости ручного или автоматического регулирования этих устройств, кроме этого, регулируемые устройства не могут обеспечить оптимального регулирования светопропускания и направлений проходящих световых лучей при любой ориентации окна по сторонам света, позонное регулирование светопропускания также ограничено, дополнительные устройства практически неприменимы, например, для криволинейных, а также для наклонных остекленных поверхностей;

– существующие способы двустороннего регулирования светопропускания через одну и ту же зону остекленной конструкции не позволяют вести дополнительное к самопроизвольному регулирование в зависимости от углов падения излучений разных диапазонов длин волн на две граничные поверхности конструкции;

– широко применяемые в современной архитектуре зеркальные фасады многоэтажных зданий вызывают дискомфорт от отраженных световых потоков, что особенно неудобно для водителей транспорта;

– применяемые в осветительных приборах прожекторного класса френелевские линзы достаточно сложны в изготовлении;

– в оптических системах остаются некоторые проблемы в упрощении способов исправления сферической и других видов геометрической аберрации, обеспечения самоориентировки оси оптической системы по направлению к источнику света, а также оптимизации характеристик «просветления» оптики;

– существуют неиспользованные резервы улучшения характеристик светопропускания линз, применяемых как в медицинских очках для коррекции зрения, так и солнцезащитных очках;

– возможен дополнительный способ селективного пропускания света через остекленную конструкцию за счет дисперсии;

– возможности селективного регулирования направленного светопропускания в зависимости от угла падения лучей недостаточно используются для получения специальных цветоцветовых эффектов, в т. ч. для защиты товаров от подделок, для повышения когерентности световых пучков и для расширения функций голограмм;

– недостаточно используются возможности сезонного регулирования светопропускания оконных конструкций при изменении углов падения солнечных лучей и их интенсивности в зависимости от времен года;

– не используются дополнительные возможности саморегуляции светопропускания оконных конструкций при изменении температуры в камерах между слоями остекления.

Для рационального решения перечисленных выше проблем автором ведутся работы с целью создания нового способа регулирования направленного светопропускания с применением чередующихся полос с разными оптическими и геометрическими характеристиками, созданных путем дополнительной обработки поверхностей остекленной конструкции или приклеивания на них специальных пленок с заранее нанесенными на них подобными полосами. По промежуточным результатам исследований подана заявка на изобретение по международной системе РСТ с датой приоритета 11.05.2010, с данными материалами можно ознакомиться на сайте ВОИС (заявка опубликована 19.05.2011) [8]. Получение патентов предполагается в США, Японии, Китае, а также Европейского патента с указанием ФРГ, Великобритании, Франции, Италии и Финляндии как государств с наиболее передовыми технологиями в этой области.

18.04.2011

Список литературы:

1 Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.: ил. – ISBN 5-9221-0134-8.

- 2 Фейнман, Р., Лейтон, Р., Сэндс, М. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс: Т. 3. Излучение. Волны. Кванты. Т. 4. Кинетика. Теплота. Звук. – М.: Мир, 1976. – 496 с.: ил.
- 3 Born, M., Wolf, E. Principles of Optics / M. Born, E. Wolf. – 7th (expanded) edition. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – pp. 952. – ISBN 0-521-64222-1.
- 4 Пат. 2306397 С1 Российская Федерация, МПК⁸ E 06 В 9/24. Способ получения и устройство солнцезащитного ограждения из полимерного материала / Сидорцев С. А.; заявитель и патентообладатель Сидорцев С. А. – №2006104296/03; заявл. 14.02.06; опубл. 20.09.07, Бюл. №26. – 10 с.: ил.
- 5 Pat. 2230347A United Kingdom, INT CL⁵ G 02 B 5/00. Multi-spectral transmission coatings / P. W. Walland, C. J. H. Wort, J. C. A. Lewis; The Plessey Company Pic. – №8711554.9; fil. 15.05.87; publ. 17.10.90. – pp. 15.
- 6 Pat. 4,040,727 USA, INT CL² G 02 B 5/08. Transflector / R. D. Ketchpel; Rockwell International Corporation. – №612,121; fil. 10.09.75; publ. 09.08.77. – pp. 6.
- 7 Pat. 5,144,484 USA, INT CL⁵ G 02 B 3/00; G 02 B 9/00. Binary optic lens design using flip-flop optimization / W. H. Southwell; Rockwell International Corporation. – №597,934; fil. 15.10.90; publ. 01.09.92. – pp. 16.
- 8 (WO 2011/059360), INT CL⁶ E 06 B 9/24; G 02 B 5/20; G 02 B 3/00. Expedient of regulation of the directional gear transmission of light / R. S. Zakirullin. – PCT/RU2010/000234; fil. 11.05.10; publ. 19.05.11. – pp. 56. – <http://www.wipo.int/pctdb/en/>. – открытый доступ.

Сведения об авторе: **Закируллин Рустам Сабирович**, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460018 г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail: rustam_sabir@mail.ru

UDC 535.3

Zakirullin R.S.

Orenburg State University, e-mail: rustam_sabir@mail.ru

SELECTIVE REGULATION OF LIGHT TRANSMISSION GLASS AND GLAZING CONSTRUCTIONS

The modern methods of selective regulation of directional light transmission of glass and glazing constructions, depending on the angle of light rays are regarded in this work, sciences and technologies, where there are unresolved problems, are distinguished. The author carried out relevant researches on the interim results of which international application was filed on the invention.

Key words: selective regulation depending on the angle of incidence of light rays, self-regulation, directed light transmission, pozoal distribution of regulation, smart glass.

Bibliography:

- 1 Landsberg, G. S. Optics / G. S. Landsberg. – 5th (expanded) edition. – M.: Physmatlit, 2003. – pp. 848. – ISBN 5-9221-0134-8.
- 2 Feynman, R., Leighton, R., Sands, M. The Feynman lectures on physics / R. Feynman, R. Leighton, M. Sands: VV. 3, 4. – M.: Mir, 1976. – pp. 496.
- 3 Born, M., Wolf, E. Principles of Optics / M. Born, E. Wolf. – 7th (expanded) edition. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – pp. 952. – ISBN 0-521-64222-1.
- 4 Пат. 2306397 С1 Russian Federation, INT CL⁸ E 06 В 9/24. Method for polymeric sun enclosure production and sun enclosure structure / Sidotsev S. A.; Sidotsev S. A. – №2006104296/03; fil. 14.02.06; publ. 20.09.07. – pp. 10.
- 5 Pat. 2230347A United Kingdom, INT CL⁵ G 02 B 5/00. Multi-spectral transmission coatings / P. W. Walland, C. J. H. Wort, J. C. A. Lewis; The Plessey Company Pic. – №8711554.9; fil. 15.05.87; publ. 17.10.90. – pp. 15.
- 6 Pat. 4,040,727 USA, INT CL² G 02 B 5/08. Transflector / R. D. Ketchpel; Rockwell International Corporation. – №612,121; fil. 10.09.75; publ. 09.08.77. – pp. 6.
- 7 Pat. 5,144,484 USA, INT CL⁵ G 02 B 3/00; G 02 B 9/00. Binary optic lens design using flip-flop optimization / W. H. Southwell; Rockwell International Corporation. – №597,934; fil. 15.10.90; publ. 01.09.92. – pp. 16.
- 8 (WO 2011/000000), INT CL⁶ E 06 B 9/24; G 02 B 5/20; G 02 B 3/00. Expedient of regulation of the directional gear transmission of light / R. S. Zakirullin. – PCT/RU2010/000234; fil. 11.05.10; publ. 19.05.11. – pp. 72. – <http://www.wipo.int/pctdb/en/>. – free access.