

УДК 692.82:620.9

**С. В. Корниенко,
В. Л. Миков,
Б. А. Навроцкий**

ОКНА УМНОГО ДОМА

По итогам проведенного аналитического обзора систематизированы основные характеристики светопропускающих ограждающих конструкций в умном жилище.

Ключевые слова:

окно,
умный дом,
климатические воздействия,
электрохромное стекло,
умная солнцезащита,
математическое моделирование,
энергосбережение.

**S. V. Kornienko,
V. L. Mikov,
B. A. Navrotskii**

WINDOWS OF SMART HOME

Based on the results of the analytical review, the main characteristics of light-transmitting enclosing structures in a smart home were systematized.

Key words:

window,
smart home,
climate impacts,
electrochromic glass,
smart shading,
simulation,
energy-conservation.

Об авторах:

Корниенко Сергей Валерьевич —
д-р техн. наук,
заведующий кафедрой
архитектуры зданий
и сооружений,
Волгоградский
государственный
технический университет
(ВолГТУ).
Российская Федерация,
400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, 1,
skorn73@mail.ru

Введение

Окно является неотъемлемой частью оболочки здания [1—5]. Окна необходимы для естественного освещения помещений, они должны обеспечить теплозащитные, воздухоизоляционные и влагозащитные требования. Окна должны надежно защищать помещения от воздушного шума, создаваемого внешними источниками, благодаря окнам создается визуальный контакт с внешней средой.

С теплотехнической точки зрения окна — наиболее сложный элемент оболочки здания. Зимой около 50 % общих трансмиссионных тепловых потерь приходится на окна [6]. Это приводит к ухудшению микроклимата в помещениях и создает более высокую потребность в тепловой энергии. В южных районах Российской Федерации высока потребность в кондиционировании воздуха помещений в летний период [7].

В настоящее время эксплуатационно-технические характеристики окон являются предметом изучения значительного количества ученых. В имеющейся литературе [8—12] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплового режима оконных конструкций, определены их светотехнические характеристики, выполнена оценка влияния конструктивного решения окон на тепловой и световой комфорт помещений. Однако основные характеристики светопропускающих ограждающих конструкций не систематизированы, что затрудняет поиск эффективных решений при проектировании, производстве и эксплуатации оконных конструкций. Актуальность этой проблемы возрастает в связи с разработкой концепции умного дома [13].

Так каким же должно быть окно в умном доме?

1. Регулирование климатических воздействий окнами

Большую часть оконных конструкций занимают светопропускающие изделия — стеклопакеты, поэтому в первую очередь остановимся на анализе их основных свойств.

Для обеспечения высоких эксплуатационно-технических характеристик стеклопакетов необходимо применение инновационных решений. Эти решения основаны на применении многокамерных стеклопакетов [14] с низкоэмиссионными покрытиями [15], мультифункциональными [16] и электрохромными стеклами [17—19].

Kornenko Sergei Valer'evich –
*Doctor of Engineering Sciences,
 Head of Architecture of Buildings
 and Constructions Department,
 Volgograd State Technical
 University (VSTU),
 1, Akademicheskaya st.,
 Volgograd, 400074,
 Russian Federation,
skorn73@mail.ru*

Миков Виктор Леонидович –
*канд. физ.-мат. наук,
 эксперт Межрегионального
 института оконных и фасадных
 конструкций,
 Российская Федерация,
 191040, г. Санкт-Петербург,
 Транспортный пер., 12А*

Mikov Viktor Leonidovich –
*Candidate of Physical and
 Mathematical Sciences,
 The Interregional
 Institute of Window and Facade
 Structures,
 12A, Transportnyi per.,
 Saint Peterburg, 191040,
 Russian Federation*

Навроцкий Борис Александрович –
*д-р филос. наук,
 профессор,
 главный редактор журнала
 «Социология города»,
 Российская Федерация, 400074,
 г. Волгоград,
 ул. Академическая, 1,
banavr17@gmail.ru*

Navrotski Boris Aleksandrovich –
*Doctor of Philosophy, Professor,
 Chief Editor of «Sociology of City»,
 1, Akademicheskaya St.,
 Volgograd, 400074,
 Russian Federation,
banavr17@gmail.ru*

Однокамерный стеклопакет с двумя обычными стеклами, заполненный аргоном, обеспечивает максимальное пропускание видимого излучения (81 %). Однако высокая теплопередача [2,6 Вт/(м²·К)] создает риск конденсации влаги на внутренней поверхности в зимний период даже в умеренных широтах, а большое теплопропускание солнечного излучения (76 %) летом может привести к перегреву помещений.

Для улучшения теплотехнических характеристик стеклопакетов в настоящее время широко применяют стекла с низкоэмиссионными покрытиями. Низкоэмиссионное покрытие представляет собой тончайшую (порядка 100 нм) пленку из оксидов металлов. Такое покрытие выполняет роль теплового «зеркала». Нанесение на поверхность стекла низкоэмиссионного покрытия незначительно снижает светопропускание (на 1...2 %), однако позволяет существенно (в 2,4 раза) улучшить теплоизолирующие свойства стеклопакетов за счет отражения тепловых лучей от стекла в помещение.

Для защиты помещений от избыточной солнечной радиации в летний период эффективно применение наружного мультифункционального стекла, сочетающего в себе повышенные солнцезащитные и теплоизолирующие свойства. Применение такого стекла позволяет существенно (до 42 %) сократить теплопоступления от солнечной радиации, снизить чрезмерную яркость поверхностей помещения за счет снижения светопропускания стеклопакета (до 67 %) и обеспечить более высокий уровень теплового и светового комфорта в течение года.

Перспективным направлением в архитектуре и строительстве является применение электрохромного стекла (рис. 1). Такое стекло представляет собой композит из слоев стекла с различными химическими материалами [11]. В зависимости от внешних условий изменение пропускающих свойств электрохромного стекла достигается с помощью прохождения через него электрического тока напряжением 12...36 В. Контроль оптических и теплофизических свойств стекла осуществляется в автоматизированном режиме. По сравнению с традиционными решениями электрохромное стекло позволяет регулировать климатические воздействия в широких пределах, однако высокая стоимость пока сдерживает его широкое практическое применение.



Рис. 1. Электрохромное остекление с верхней и нижней зонами управления [11]

В процессе эксплуатации зданий загрязнение внешней поверхности остекления ухудшает его оптические свойства. В результате световой поток, поступающий в помещения, снижается, что приводит к дополнительным затратам на искусственное освещение. Ручная очистка остекления существенно повышает эксплуатационные расходы. Для автоматической очистки остекления применяют стекло с самоочищающимся покрытием. В результате нанесения такого покрытия под действием ультрафиолетового излучения и атмосферной влаги поверхность стекла становится чистой без применения моющих средств¹.

В таблице 1 приведены оптические и теплотехнические характеристики стеклопакетов с различными типами остекления (согласно СП 345.1325800.2017 и [5]).

Для повышения эксплуатационно-технических характеристик оконной конструкции в целом наряду со стеклопакетами нуждаются в совершенствовании и другие элементы конструкции, тесно связанные с ними. Так, для изготовления рамочной конструкции необходимо применять надежные и долговечные малотеплопроводные материалы и изделия, правильно размещать оконный блок в стене, использовать прочное крепление конструкций [20—22].

Широкие возможности энергосбережения имеют навесные конструкции двойных вентилируемых светопропускающих фасадов [23].

На основании выполненного анализа можно сделать вывод о том, что в умном жилище наиболее высокий потенциал создания комфортной энергоэффективной среды может быть достигнут только за счет применения оконных конструкций с максимальным регулированием климатических воздействий на основе современных цифровых технологий.

¹Недавно петербургские ученые разработали «греющие окна» для Крайнего Севера. Система обогрева невидима, теплота распределяется равномерно, а конденсат отсутствует. При этом цена изделия в 3 раза ниже, чем у зарубежных аналогов.

Таблица 1. Основные оптические и теплотехнические характеристики стеклопакетов (по центру стеклопакета)

Тип стеклопакета	Теплопередача, Вт/(м ² ·К)	Светопропускание, %	Общее пропускание солнечной энергии, %	Функции
Два обычных стекла, заполнение аргоном	2,6	81	76	Высокая теплопередача
Низкоэмиссионное и обычное стекло, заполнение аргоном	1,1	80	61	Снижение интенсивности передачи теплоты излучением
Солнцезащитное низкоэмиссионное и обычное стекло, заполнение аргоном	1,0	67	42	Защита от солнечной радиации, снижение интенсивности передачи теплоты излучением
Два низкоэмиссионных стекла и одно обычное, заполнение аргоном	0,6	71	50	Снижение интенсивности передачи теплоты теплопроводностью, конвекцией, излучением
Электрохромное и низкоэмиссионное стекло, заполнение аргоном [5]	1,3	44	43	$Q_p < 200$ Вт/м ² — проницаемо $Q_p \geq 200$ Вт/м ² — частично проницаемо
		16	4	
	1,3	44	43	Автоматический 2-ступенчатый контроль теплопотерь от солнечной радиации Автоматический 4-ступенчатый контроль освещенности
		12	21	
		4	16	
		0,7	14	

2. Умная солнцезащита

Важным элементом современной архитектуры является солнцезащита.

Как отмечал Н. В. Оболенский, уже Сократ учил: «Сейчас в домах с видом на юг солнечные лучи проникают в галереи зимой, а летом путь Солнца лежит над нашими головами и выше крыш так, что имеется тень. Если тогда это наилучшее устройство, то мы должны будем строить южный фасад дома более высоким, чтобы в дом поступали лучи зимнего Солнца, и северный фасад более низким, чтобы защитить дом от зимних ветров» [24].

Современные системы солнцезащитных устройств (СЗУ) позволяют в значительной степени повысить уровень комфорта в помещениях и сократить энергетические затраты на системы климатизации здания.

Сформулируем основные принципы СЗУ в умном доме.

Многофункциональность. Отличительной особенностью современных СЗУ является их многофункциональность. Основная функция СЗУ — защита помещений от воздействия прямого солнечного излучения в теплый период года (пассивное охлаждение). Считается, что период охлаждения характеризуется среднемесячной температурой наружного воздуха 21 °С и выше. Средства солнцезащиты применяют во многих регионах России. Пассивное солнечное охлаждение не требует применения дополнительных инженерных систем, поэтому эксплуатационные затраты снижаются. Наряду с пассивным охлаждением важными функциями СЗУ являются: обеспечение максимальных теплопоступлений в помещения от солнечного излучения в холодный период года (пассивное солнечное отопление); снижение тепловых потерь; создание теплового комфорта в помещениях. СЗУ должны обеспечивать высокий зрительный комфорт, визуальную связь с окружающей средой, быть устойчивыми к ветровым нагрузкам.

Наиболее эффективны наружные СЗУ — об этом знали еще наши предки, устанавливающие на окна ставни. Ставни, наружные рулонные шторы, жалюзи, маркизы надежно защищают помещения от перегрева летом, обеспечивая солнечные теплопоступления зимой. Но внешние СЗУ, даже в современном конструктивном исполнении, далеко не всегда могут обеспечить высокий уровень зрительного комфорта. Внутренние шторы хорошо защищают от избыточной яркости, однако практически бесполезны с точки зрения пассивного охлаждения. Солнцезащитное остекление обеспечивает хороший визуальный контакт с внешней средой, но почти не влияет на пассивное солнечное отопление.

Для повышения эффективности использования СЗУ необходим поиск новых конструктивных решений.

Пофасадное регулирование. СЗУ должны обеспечивать пофасадное регулирование климатических воздействий. Солнечное излучение по кругу горизонта неодинаково, поэтому на окнах различных фасадов должны применяться разные типы СЗУ (рис. 2).

Для исключения летнего перегрева помещений на южном и юго-западном фасадах здания рекомендуется применять СЗУ с высоким и очень высоким уровнем солнцезащиты. На южном фасаде (отклонение $\pm 30^\circ$) максимальный эффект дают горизонтальные регулируемые СЗУ. На фасадах, ориентированных на юго-восток и юго-запад, наиболее предпочтительны комбинированные и сотообразные СЗУ; применение вертикальных устройств солнцезащиты

здесь неэффективно. Солнцезащитные оболочки дают возможность обеспечить пассивное охлаждение практически при любом расположении фасада, но могут существенно изменить архитектурный облик здания. Оптимальная форма СЗУ позволяет обеспечить максимальный затеняющий эффект при различном положении Солнца на небосводе.

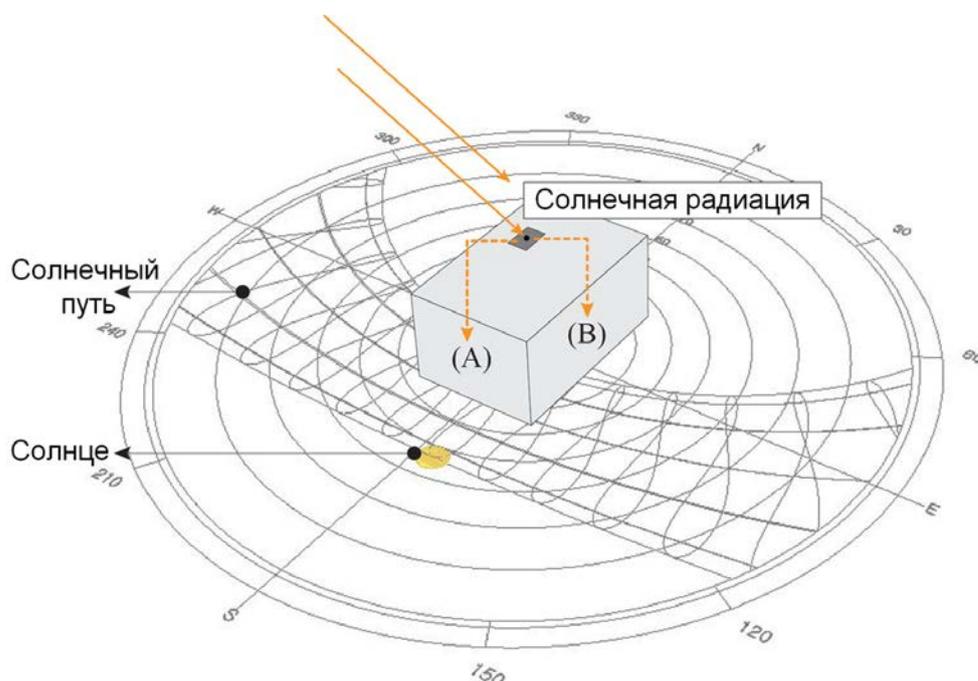


Рис. 2. Модель для расчета тепlopоступлений в здание от солнечного излучения [25] (A и B – фасады различной ориентации по сторонам горизонта)

Максимальный эффект солнцезащиты достигается при использовании автоматизированных систем контроля и управления. Применение межстекольных жалюзи с биметаллическими пластинами [26] позволяет регулировать тепlopоступления от солнечной радиации в автоматическом режиме. Эффект затенения такими устройствами обеспечивается за счет изменения угла наклона планок жалюзи в зависимости от интенсивности прямого солнечного излучения. По результатам расчета установлено, что применение этих жалюзи (вместе с вентилируемым межстекольным пространством) позволяет снизить тепlopоступления от солнечной радиации на 58 % летом и на 1,53 % зимой [26].

Таким образом, применение СЗУ с автоматическим пофасадным регулированием позволяет создать наиболее высокий уровень комфорта в помещениях в течение всего года.

Интеграция с фотоэлектрическими панелями. Солнце — природный, возобновляемый и экологически безопасный источник энергии. Эффективными устройствами, преобразующими солнечную энергию в электрическую, являются полупроводниковые солнечные батареи. Специалисты утверждают: через 20...30 лет этот тип солнечной энергетики станет экономически сравнимым с другими видами энергетики.

Фотоэлектрические панели могут быть установлены на затеняющие элементы СЗУ, расположенные на южных фасадах зданий. Угол наклона затеняющих элементов к горизонту рекомендуется принимать равным широте местности. Наиболее эффективными являются динамические системы слежения за Солнцем (рис. 3). Энергия, полученная в процессе преобразования, может быть использована для бытовых целей.

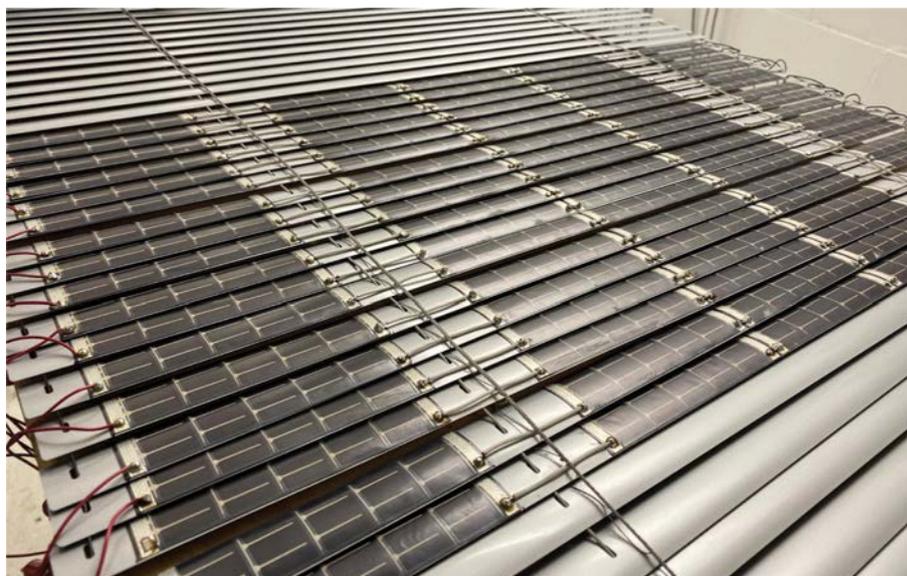


Рис. 3. Жалюзи, интегрированные с фотоэлектрическими панелями [27]

Интеграция СЗУ с фотоэлектрическими панелями является весьма перспективным способом пассивно-активного регулирования микроклимата помещений и может обеспечить высокий энергосберегающий эффект. Применение гибридной солнцезащиты может создать совершенно новую городскую среду.

Сформулированные принципы являются теоретической основой создания умной солнцезащиты, что позволяет выйти на новый уровень комфорта, экологической безопасности и энергоэффективности [28, 29].

3. Математическое моделирование солнцезащиты помещений

Процессы теплообмена в помещении и теплопередачи через окно тесно взаимосвязаны, поэтому расчет современных оконных систем должен проводиться как общий расчет теплового режима помещений и теплотехнических характеристик окон.

Наиболее надежно характеристики солнцезащиты могут быть определены методом математического моделирования с применением современных компьютерных программ [30—32].

Рассмотрим математическую модель солнцезащиты помещения (рис. 4). Выделим принципиальные составляющие этой модели.

Расчет солнечной радиации, падающей на поверхность. Интенсивность суммарной солнечной радиации I_{Σ} , Вт/м², падающей на поверхность произвольной ориентации, определяют по формуле [33]:

$$I_{t\theta} = I_d \cos\theta + I_s \left(\frac{1 + \cos\gamma}{2} \right),$$

где I_d, I_s — соответственно интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации; θ — угол между солнечным лучом и нормалью к поверхности; γ — угол наклона поверхности к горизонту.

Угол θ можно рассчитать по формуле [34]:

$$\cos\theta = \cos(\psi - \gamma)\cos\phi\cos\omega + \sin(\psi - \gamma)\sin\phi,$$

где ψ — широта местности; ϕ — склонение Солнца, определяемое по формуле [35]:

$$\phi = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right),$$

где n — порядковый номер дня в году; ω — солнечный часовой угол.

Указанные формулы позволяют рассчитать суммарную солнечную радиацию для любой географической широты местности и любого времени.

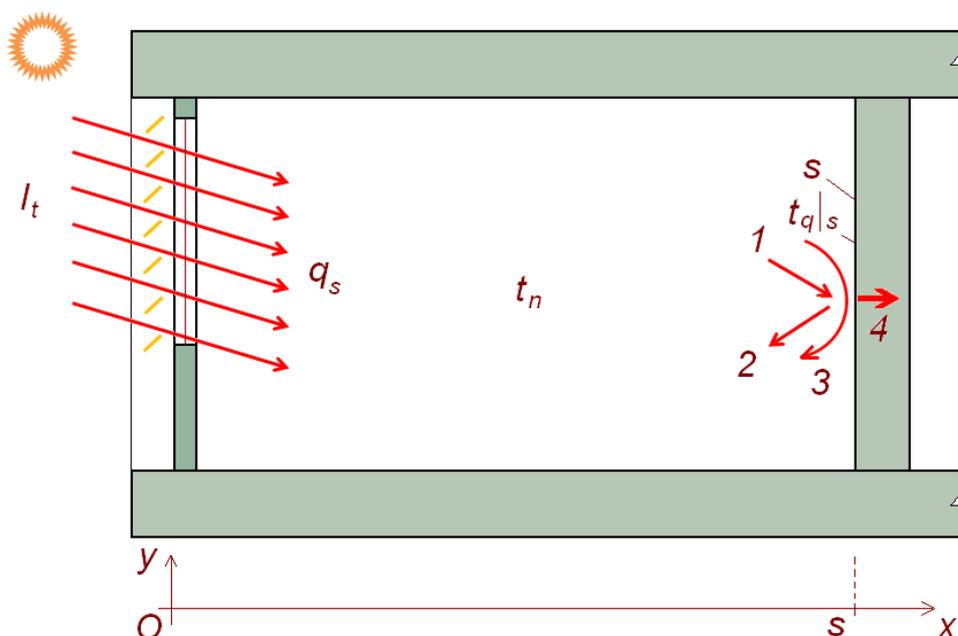


Рис. 4. Схема солнцезащиты помещения: 1 – падающая солнечная радиация; 2 – отраженная солнечная радиация; 3 – конвекция; 4 – теплопроводность

Расчет солнечной радиации, проходящей через окно. При инсоляции поверхности окна часть энергии Солнца отражается от поверхности, часть поглощается СЗУ и конструкцией окна, часть проходит через окно (см. рис. 4). Интенсивность солнечной радиации, проходящей через окно с СЗУ, можно приближенно определить по формуле [31]:

$$q_s = \tau_s \left(I_d \cos\theta \frac{S_s}{S} + I_s F_{ss} \right),$$

где q_s — общий коэффициент пропускания солнечной энергии окном; S_s, S — соответственно площадь «живого» сечения и общая площадь окна; F_{ss} — коэффициент облученности с поверхности СЗУ в сторону небосвода.

Формула дает возможность оценить солнечные теплопоступления через окно при различных режимах регулирования СЗУ.

Расчет температуры воздуха в помещении. Температура воздуха в помещении определяется с учетом температурного режима ограждающих конструкций и теплопоступлений через окно (см. рис. 4). Изменение температуры воздуха в помещении можно приближенно определить на основе решения уравнения теплового баланса [26]:

$$C_{pj} \frac{dt_n}{d\tau} = \alpha_k (t_q|_s - t_n) + q_s,$$

где C_{pj} — объемная теплоемкость воздуха, Дж/(м³·К); t_n — температура воздуха в помещении, °С; τ — время, с; α_k — характеристика конвективного теплообмена на поверхности конструкции s , Вт/(м²·К); $t_q|_s$ — температура на поверхности конструкции, °С.

Для решения этого уравнения необходимо знать температуру на внутренней поверхности конструкции $t_q|_s$. Эту температуру можно определить на основе решения дифференциального уравнения, описывающего процесс нестационарного теплопереноса через плоский элемент конструкции:

$$C_{pq} \frac{\partial t_q}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_q \frac{\partial t_q}{\partial x} \right),$$

где C_{pq} — объемная теплоемкость материала конструкции, Дж/(м³·К); t_q — температура конструкции, °С; τ — время, с; x — пространственная координата, м; λ_q — теплопроводность материала конструкции, Вт/(м·К).

На поверхностях конструкции должны быть заданы граничные условия теплообмена третьего рода.

Рассмотренная выше математическая модель удобна для практического применения. Главным достоинством этой модели является то, что она позволяет оценить изменение температуры воздуха в помещении и регулировать этот процесс во времени. Модель позволяет «проигрывать» различные сценарии теплового режима на ЭВМ, на основе которых можно выбрать наилучшее решение. Математическое моделирование солнцезащиты помещений является эффективным средством, позволяющим достичь высокого уровня комфорта с минимальными энергетическими затратами.

Строительство жилища с умными окнами позволит решить актуальную проблему повышения качества архитектурной среды и сохранения энергии для будущих поколений.

Заключение

По итогам проведенного аналитического обзора можно выделить основные принципы проектирования, производства и эксплуатации светопропускающих ограждающих конструкций в умном жилище.

1. Рассмотрены инновационные решения остекления, основанные на применении многокамерных стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями, мультифункциональными и электрохромными стеклами. Для повышения эксплуатационно-технических характеристик оконной конструкции в целом наряду со стеклопакетами необходимо совершенствовать и другие элементы конструкции. Следует применять рамочную конструкцию, выполненную из надежных и долговечных малотеплопроводных материалов и изделий,

правильно размещать оконный блок в стене, использовать прочное крепление конструкций. Широкие возможности энергосбережения имеют навесные конструкции двойных вентилируемых светопропускающих фасадов. Наиболее высокий потенциал создания комфортной энергоэффективной среды может быть достигнут только за счет применения оконных конструкций с максимальным регулированием климатических воздействий на основе современных цифровых технологий.

2. Показано, что основными принципами эффективной солнцезащиты являются многофункциональность, пофасадное автоматическое регулирование, интеграция с фотоэлектрическими панелями. Указанные принципы могут быть использованы для создания теоретических основ проектирования умной солнцезащиты, что позволяет выйти на новый уровень комфорта, экологической безопасности и энергоэффективности на всех этапах жизненного цикла зданий.

3. Наиболее надежно характеристики солнцезащиты могут быть определены методом математического моделирования с применением современных компьютерных программ. Рассмотрена математическая модель солнцезащиты помещения. Принципиальными составляющими этой модели являются: расчет солнечной радиации, падающей на поверхность; расчет солнечной радиации, проходящей через окно; расчет температуры воздуха в помещении. Главным достоинством этой модели является то, что она позволяет оценить изменение температуры воздуха в помещении и регулировать этот процесс во времени. Модель позволяет «проигрывать» различные сценарии теплового режима на ЭВМ, на основе которых можно выбрать наилучшее решение. Математическое моделирование солнцезащиты помещений является эффективным средством, позволяющим достичь высокого уровня комфорта с минимальными энергетическими затратами.

Строительство жилища с умными окнами позволит решить актуальную проблему повышения качества архитектурной среды и сохранения энергии для будущих поколений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшков А. С., Миков В. Л. Проектирование ограждающих конструкций в странах Европейского союза и России // Светопрозрачные конструкции. 2017. № 5 (115). С. 46—54.
2. Дацюк Т. А., Гримитлин А. М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 182—187. doi: 10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187.
3. Соколов Н. А., Соколов А. Н. Новый уровень теплофизических измерений в строительстве // Светопрозрачные конструкции. 2018. № 5–6 (121–122). С. 26—28.
4. Куренкова А. Ю. Куда качнется маятник // Светопрозрачные конструкции. 2019. № 1 (123). С. 14—15.
5. Gutai M., Kheybari A. G. Energy consumption of Water-filled glass (SWFG) hybrid building envelope // Energy Buildings. 2021. Vol. 230. P. 110508.
6. Korniyenko S. Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: case study // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. No. 3. doi: 10.1051/e3sconf/20183302005.

7. Табунчиков Ю. А. Москва — умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. С. 12—13.
8. Pittaluga M. The electrochromic wall // Energy and Buildings. 2013. Vol. 66. Pp. 49—56. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.028.
9. Pierucci A., Cannavale A., Martellotta F., Fiorito F. Smart windows for carbon neutral buildings: A life cycle approach // Energy Buildings. 2018. Vol. 165. Pp. 160—171. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.01.021.
10. Piccolo A. Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. No. 9. Pp. 1409—1417. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.03.010.
11. Lee E. S., Claybaugh E. S., LaFrance M. End user impacts of automated electrochromic windows in a pilot retrofit application // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. Pp. 267—284. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.12.003.
12. Allen K., Connelly K., Rutherford P., Wu Y. Smart windows — Dynamic control of building energy performance // Energy Buildings. 2017. Vol. 139. Pp. 535—546.
13. Корниенко С. В. Жилище в умном городе. Взгляд инженера-архитектора // Социология города. 2020. № 1. С. 5—15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42594576>.
14. Thermal performance evaluation of double panel glass windows / N. M. Salleh, M. H. Azmi, N. A. A. Salim, S. N. Kamaruzzaman, N. S. M. Azizi // Malaysian Construction Research Journal. 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 141—154. URL: <https://www.cream.my/main/index.php/publication/malaysian-construction-research-journal-mcrj#>
15. Chow T.-T., Li C., Lin Z. Innovative solar windows for cooling-demand climate // Solar Energy and Solar Cells. 2010. Vol. 94. No. 2. Pp. 212—220. doi: 10.1016/j.solmat.2009.09.004.
16. Arici M., Karabay H., Kan M. Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows // Energy Buildings. 2015. Vol. 86. Pp. 394—402. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.043.
17. De Forest N., Shehabi A., Selkowitz S., Milliron D. J. A comparative energy analysis of three electrochromic glazing technologies in commercial and residential buildings // Applied Energy. 2017. Vol. 192. Pp. 95—109. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.02.007.
18. Hemaida A., Ghosh A., Sundaram S., Mallick T. K. Evaluation of thermal performance for a smart switchable adaptive polymer dispersed liquid crystal (PDLC) glazing // Solar Energy. 2020. Vol. 195. Pp. 185—193. doi: 10.1016/j.solener.2019.11.024.
19. Ghosh A., Norton B., Duffy A. Measured thermal performance of a combined suspended particle switchable device evacuated glazing // Applied Energy. 2016. Vol. 169. Pp. 469—480. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.031.
20. Cappelletti F., Gasparella A., Romagnoni P., Baggio P. Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: The case of clay block walls // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No. 6. Pp. 1435—1442. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.02.004.
21. Misopecki C., Bouquin M., Gustavsen A., Jelle B. P. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position // Energy and Buildings. 2018. Vol. 158. Pp. 1079—1086. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.021.
22. Корниенко С. В., Глухова Д. Ф. Влияние размещения оконного блока по толщине стены на теплопотери // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4 (67). С. 62—71. doi: 10.18720/CUBS.67.5.
23. Carlos J. S. Optimizing the ventilated double window for solar collection // Solar Energy. 2017. Vol. 150. Pp. 454—462.
24. Оболенский Н. В. Архитектура и солнце. М. : Стройиздат, 1988. 207 с.
25. Kang H., Hong T., Jung S., Lee M. Techno-economic performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds considering the photovoltaic panel type and the solar tracking

method // *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 193. Pp. 1—14. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.03.042.

26. Simulation study on light environment performance and heat gain of applying a bimetal automatic shading device to rooms / Z. Li, S. Zhang, J. Chang, F. Zhao, Y. Zhao, J. Gao // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 211. P. 109820. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109820.

27. Design and experiment of a sun-powered smart building envelope with automatic control / L. Qiliang, Y. Zhang, A. Van Mieghem, Y.-C. Chen, N. Yu., Y. Yang, H. Yin // *Energy Buildings*. 2020. Vol. 223. Pp. 110—173. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110173.

28. Корниенко С. В. Роль солнцезащиты в концепции умный дом // Здания высоких технологий. 2020. № 2. С. 56—57.

29. Корниенко С. В., Попова Е. Д. «Зеленое» строительство в России и за рубежом // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 4 (55). С. 67—93. doi: 10.18720/CUBS.55.5.

30. Saelens D., Parys W., Roofthoof J., Tablada de la Torre A. Assessment of approaches for modeling louver shading devices in building energy simulation programs // *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 60. Pp. 286—297. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.10.056.

31. Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque facades: A case study for residential buildings in Hong Kong / S. Liu, Y. T. Kwok, K. K. L. Lau, P. W. Chan, E. Ng // *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 193. Pp. 78—91. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.03.044.

32. Lau K. K., Ng E. Y., Chan P., Ho J. C. Near-extreme summer meteorological dataset for sub-tropical climates // *Building Services Engineering Research and Technology*. 2017. Vol. 38. No. 2. Pp. 197—208. doi: 10.1177/0143624416675390.

33. Liu B. Y. H., Jordan R. C. Daily insolation on surfaces tiled toward the equator. *ASHRAE J.* 1961. Vol. 10. P. 53.

34. Yingxin Z. *Building Environmental Science*. 2nd ed. China Building Industry Press, 2015. Pp. 8—10.

35. Jentsch M. F., Eames M. E., Levermore G. J. Generating near-extreme summer reference years for building performance simulation // *Building Services Engineering Research and Technology*. 2015. Vol. 36. No. 6. Pp. 701—727. doi: 10.1177/0143624415587476.

REFERENCES

1. Gorshkov A. S., Mikov V. L. [Design of enclosing structures in the countries of the European Union and Russia]. *Svetoprozrachnye konstruksii* [Translucent structures], 2017, no. 5, pp. 46—54.

2. Datsyuk T. A., Grititlin A. M. [The effect of the enclosing structure air permeability value on the energy consumption of residential building]. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2017, no. 6, pp. 182—187. doi: 10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187.

3. Sokolov N. A., Sokolov A. N. [A new level of thermophysical measurements in construction]. *Svetoprozrachnye konstruksii* [Translucent structures], 2018, no. 5—6, pp. 26—28.

4. Kurenkova A. Yu. [Where will the pendulum swing]. *Svetoprozrachnye konstruksii* [Translucent structures], 2019, no. 1, pp. 14—15.

5. Gutai M., Kheybari A. G. Energy consumption of Water-filled glass (SWFG) hybrid building envelope. *Energy Buildings*, 2021, vol. 230, p. 110508.

6. Korniyenko S. Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: case study. *E3S Web of Conferences*, 2018, vol. 33, no. 3. doi: 10.1051/e3sconf/20183302005.

7. Tabunshchikov Yu. A. [Moscow is a smart carbon-free city: opportunities for modern construction]. *Energoberezhnie* [Energy Conservation], 2019, no. 6, pp. 12—13.

8. Pittaluga M. The electrochromic wall. *Energy and Buildings*, 2013, vol. 66, pp. 49—56. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.028.
9. Pierucci A., Cannavale A., Martellotta F., Fiorito F. Smart windows for carbon neutral buildings: A life cycle approach. *Energy Buildings*, 2018, vol. 165, pp. 160—171. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.01.021.
10. Piccolo A. Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, no. 9, pp. 1409—1417. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.03.010.
11. Lee E. S., Claybaugh E. S., LaFrance M. End user impacts of automated electrochromic windows in a pilot retrofit application. *Energy and Buildings*, 2012, vol. 47, pp. 267—284. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.12.003.
12. Allen K., Connelly K., Rutherford P., Wu Y. Smart windows — Dynamic control of building energy performance. *Energy Buildings*, 2017, vol. 139, pp. 535—546.
13. Kornienko S. V. [A dwelling in the smart city. A point of view of the architect specialized in civil engineering]. *Sotsiologiya Goroda* [Sociology of City], 2020, no. 1, pp. 5—15. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42594576>.
14. Salleh N. M., Azmi M. H., Salim N. A. A., Kamaruzzaman S. N., Azizi N. S. M. Thermal performance evaluation of double panel glass windows. *Malaysian Construction Research Journal*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 141—154. URL: <https://www.cream.my/main/index.php/publication/malaysian-construction-research-journal-mcrj#>
15. Chow T.-T., Li C., Lin Z. Innovative solar windows for cooling-demand climate. *Solar Energy and Solar Cells*, 2010, vol. 94, no. 2, pp. 212—220. doi: 10.1016/j.solmat.2009.09.004.
16. Arici M., Karabay H., Kan M. Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows. *Energy Buildings*, 2015, vol. 86, pp. 394—402. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.043.
17. De Forest N., Shehabi A., Selkowitz S., Milliron D. J. A comparative energy analysis of three electrochromic glazing technologies in commercial and residential buildings. *Applied Energy*, 2017, vol. 192, pp. 95—109. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.02.007.
18. Hemaida A., Ghosh A., Sundaram S., Mallick T. K. Evaluation of thermal performance for a smart switchable adaptive polymer dispersed liquid crystal (PDLC) glazing. *Solar Energy*, 2020, vol. 195, pp. 185—193. doi: 10.1016/j.solener.2019.11.024.
19. Ghosh A., Norton B., Duffy A. Measured thermal performance of a combined suspended particle switchable device evacuated glazing. *Applied Energy*, 2016, vol. 169, pp. 469—480. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.031.
20. Cappelletti F., Gasparella A., Romagnoni P., Baggio P. Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: The case of clay block walls. *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43, no. 6, pp. 1435—1442. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.02.004.
21. Misiopceki C., Bouquin M., Gustavsen A., Jelle B. P. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position. *Energy and Buildings*, 2018, vol. 158, pp. 1079—1086. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.021.
22. Korniyenko S. V., Glukhoverya D. F. [Influence of placement of the window block on wall thickness on heat losses]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii* [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2018, no. 4(67), pp. 62—71. doi: 10.18720/CUBS.67.5.
23. Carlos J. S. Optimizing the ventilated double window for solar collection. *Solar Energy*, 2017, vol. 150, pp. 454—462.
24. Obolenskii N.V. *Arkhitektura i solntse* [Architecture and sun]. Moscow, Stroizdat Publ., 1988. 207 p.
25. Kang H., Hong T., Jung S., Lee M. Techno-economic performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds considering the photovoltaic panel type and the solar tracking method. *Energy and Buildings*, 2019, vol. 193, pp. 1—14. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.03.042.

26. Li Z., Zhang S., Chang J., Zhao F., Zhao Y., Gao J. Simulation study on light environment performance and heat gain of applying a bimetal automatic shading device to rooms. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 211, p. 109820. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109820.
27. Qiliang L., Zhang Y., Van Mieghem A., Chen Y.-C., Yu N., Yang Y., Yin H. Design and experiment of a sun-powered smart building envelope with automatic control. *Energy Buildings*, 2020, vol. 223, pp. 110—173. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110173.
28. Kornienko S. V. The role of sun protection in the smart home concept. *Zdaniya vysokikh tekhnologii* [Sustainable building technologies], 2020, no. 2, pp. 56—57.
29. Kornienko S. V., Popova E. D. [“Green” construction in Russia and other countries]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii* [Construction of Unique Buildings and Structures], 2017, no. 4(55), pp. 67—93.
30. Saelens D., Parys W., Roofthoof J., Tablada de la Torre A. Assessment of approaches for modeling louver shading devices in building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 2013, vol. 60, pp. 286—297. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.10.056.
31. Liu S., Kwok Y.T., Lau K.K.L., Chan P.W., Ng E. Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque façades: A case study for residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 2019, vol. 193, pp. 78—91. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.03.044.
32. Lau K. K., Ng E. Y., Chan P., Ho J. C. Near-extreme summer meteorological dataset for sub-tropical climates. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2017, vol. 38, no. 2, pp. 197—208. doi: 10.1177/0143624416675390.
33. Liu B. Y. H., Jordan R. C. Daily insolation on surfaces tiled toward the equator. *ASHRAE J*, 1961. Vol. 10. P. 53.
34. Yingxin Z. *Building Environmental Science*. 2nd ed. China Building Industry Press, 2015. Pp. 8—10.
35. Jentsch M. F., Eames M. E., Levermore G. J. Generating near-extreme summer reference years for building performance simulation. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2015, vol. 36, no. 6, pp. 701—727. doi: 10.1177/0143624415587476.

© Корниенко С. В., Миков В. Л., Навроцкий Б. А., 2020
Received in November 2020

Поступила в ноябре 2020

Ссылка для цитирования: Корниенко С.В., Миков В.Л., Навроцкий Б.А. Окна умного дома // Социология города. 2020. № 4. С. 5—18.

For citation: Kornienko S. V., Mikov V. L., Navrotskii B. A. [Windows of smart home]. *Sotsiologiya Goroda* [Sociology of City], 2020, no. 4, pp. 5—18.