



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

умное окно,
здоровое здание,
климатические воздействия,
комфортность,
энергоэффективность

УМНОЕ ОКНО – НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЗДОРОВОГО ЗДАНИЯ

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений», Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)

Окна являются неотъемлемой частью оболочки здания. Они необходимы для естественного освещения помещений, для защиты помещений от шума, создаваемого внешними источниками, а также для обеспечения теплозащитных, воздухоизоляционных и влагозащитных требований. Умные окна обеспечивают максимальное регулирование климатических воздействий. Покажем, что умное окно является необходимым элементом здорового здания.

В настоящее время задачи создания качественного микроклимата в помещениях зданий уверенно выходят на первый план по сравнению с вопросами энергосбережения. Здание, в котором приоритет при выборе энергосберегающих технологий имеют технические решения, одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений и защите окружающей среды, построенное с применением экологически чистых строительных материалов, называют здоровым [1]. Потребность в строительстве таких зданий высока и определяется необходимостью создания комфортной энергоэффективной среды обитания.

Окно является неотъемлемой частью оболочки здания [2, 3]. 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 [4]. Это приводит к ухудшению микроклимата в помещениях и создает более высокую потребность в тепловой энергии. В южных

районах РФ высока потребность в кондиционировании воздуха помещений в летний период [5].

Так каким же должно быть окно в здоровом здании?

Регулирование климатических воздействий окнами

Большую часть оконных конструкций занимают светопрускающие 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 [6] с низкоэмиссионными покрытиями [7], мультифункциональными [8] и электрохромными стеклами [9].

Однокамерный стеклопакет с двумя обычными стеклами, заполненный аргоном, обеспечивает максимальное пропускание видимого излучения (81%). Однако высокая теплопередача ($2,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) 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 играет 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 помещении.

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. Такое стекло представляет собой композит из слоев стекла с различными химическими материалами. В зависимости от внешних условий изменение пропускающих свойств электрохромного стекла достигается с помощью прохождения через него электрического тока напряжением 12–36 В. Контроль за оптическими и теплофизическими свойствами стекла осуществляется в автоматизированном режиме. По сравнению с традиционными решениями электрохромное стекло позволяет регулировать климатические воздействия в широких пределах. Однако высокая стоимость электрохромного стекла пока сдерживает его широкое практическое применение.

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 средств.

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 [10].

Широкие возможности с точки зрения энергосбережения имеют навесные конструкции двойных вентилируемых светопрускающих фасадов [11].

Современные системы умной солнцезащиты позволяют в значительной степени повысить уровень комфорта в помещениях и сократить энергетические затраты на системы климатизации здания [12].

Расчет теплотехнических и светотехнических характеристик окон

Расчет теплотехнических и светотехнических характеристик окон выполнен по методике ISO 10077-1:20 с учетом отдельных положений СП 345.1325800.2017¹ и СП 23-102-2003².



Рис. 1. Ключевые аспекты здорового здания

¹ СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.

² СП 23-102-2003 Естественное освещение жилых и общественных зданий.

Для примера рассмотрим биопозитивную конструкцию окна в деревянной раме. Толщина рамы 100 мм. Окно двухстворчатое, с импостом. Размеры окна 1,5×1,5 м. Доля остекления окна 70%.

Рассмотрены следующие конструкции стеклопакетов:

- 1 – однокамерный стеклопакет с низкоэмиссионным и обычным стеклами;
- 2 – то же, с внутренней деревянной шторой;
- 3 – однокамерный стеклопакет с солнцезащитным низкоэмиссионным и обычным стеклами;
- 4 – двухкамерный стеклопакет с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами;
- 5 – однокамерный стеклопакет с электрохромным и низкоэмиссионным стеклами, с автоматическим двухступенчатым контролем теплоступлений от солнечной радиации [3].

Во всех указанных выше случаях камеры стеклопакетов заполнены аргоном.

Теплотехнические и оптические характеристики стеклопакетов приведены в [3, 12]. Теплопередача рамы составляет 1,5 Вт/(м²·К). Добавочные удельные потери теплоты через краевую зону стеклопакета приняты равными 0,06 Вт/(м²·К). Добавочное термическое сопротивление внутренней шторы принято равным 0,14 м²·К/Вт, светопропускание – 0,44, общее пропускание солнечной энергии – 0,80. Результаты расчета приведены ниже.

Снижение теплопотерь и повышение комфортности среды

Удельные потери теплоты через рассматриваемые конструкции окон и их элементы показаны на рис. 2, из которого видно, что максимальные удельные потери теплоты (3,35 Вт/К) отмечаются через окно с однокамерными стеклопакетом с низкоэмиссионным и обычным стеклами. Теплопотери через стеклопакет составляют 56,4% общих теплопотерь через окно. Размещение внутренней деревянной шторы заметно снижает теплопотери через окно (–17%). Максимальное снижение теплопотерь (–28,1%) дает конструкция окна с двухкамерным стеклопакетом с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами.



Рис. 2. Удельные потери теплоты через окна и их элементы

Полученные данные использованы для расчета сопротивления теплопередаче окон и определения температуры на их внутренней поверхности (рис. 3). Средняя температура на внутренней поверхности окон рассчитана при температуре внутреннего воздуха $t_{в} = 20$ °С и температуре наружного воздуха $t_{н} = -20$ °С.

Анализ результатов показывает, что минимальное значение сопротивления теплопередаче ($R_{о} = 0,67$ м²·К/Вт) имеет окно с однокамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным и обычным стеклами. Такое окно практически исключает конденсацию влаги на внутренней поверхности в широком диапазоне температур наружного воздуха, однако не всегда может обеспечить оптимальные характеристики микроклимата. Применение внутренних деревянных штор, как показано на рис. 3, повышает теплозащитные свойства ограждающей конструкции на 20,9% и улучшает тепловой комфорт помещения. Наилучшие теплозащитные свойства ($R_{о} = 0,93$ м²·К/Вт) имеет окно с двухкамерным стеклопакетом с двумя низкоэмиссионными и одним обычным стеклами. В этом случае температура на внутренней поверхности окна приближается к температуре стены, создавая изотермическую оболочку здания. Такая конструкция обеспечивает оптимальные условия по тепловому комфорту и рекомендуется для применения в зданиях с энергопотреблением, близким к нулевому [5].

Регулирование естественной освещенности

Применяя стеклопакеты с мультифункциональными и электрохромными стеклами, можно заметно изменить световой режим помещений.

Из анализа суточного хода естественной освещенности на внутренней поверхности окон южной ориентации в июне (рис. 4) видно, что характер изменения естественной освещенности в течение суток для различных конструкций окон практически один и тот же. Максимальные значения освещенности отмечаются в полдень. Применение внутренних штор позволяет снизить световой дискомфорт за счет затенения помещения от ярких солнечных лучей. Дальнейшее улучшение световой обстановки может быть достигнуто путем автоматического регулирования светового потока, поступающего

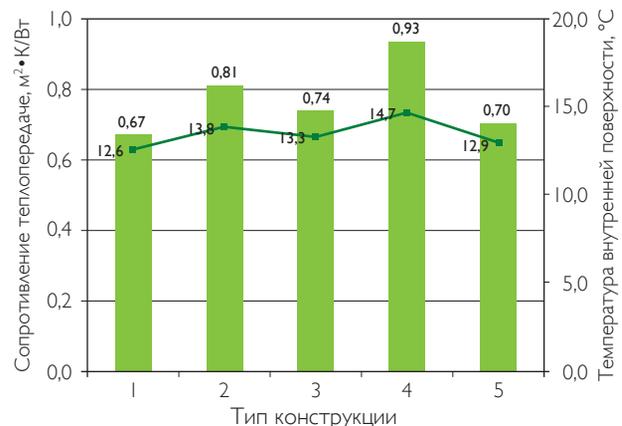


Рис. 3. Сопротивление теплопередаче окон (столбики) и температура на их внутренней поверхности (линия)

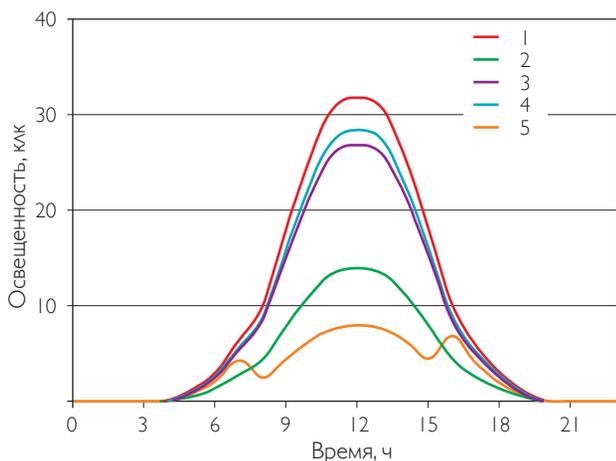


Рис. 4. Суточный ход естественной освещенности (от ясного неба и солнца) на внутренней поверхности окон южной ориентации в июне (45° с. ш.)

в помещение в летний период. Однако более низкий уровень естественного освещения в зимний период может потребовать применения специальных зональных оконных систем, состоящих из участков с различным светопропусканием [3]. Поэтому окончательный выбор конструкции теплоэффективного окна следует осуществлять согласно светотехническому расчету.

Снижение теплопотуплений от солнечной радиации

В южных районах в летний период количество солнечной радиации, падающей на фасады зданий, значительно [1], поэтому необходимо сокращать приток теплоты от солнечного излучения в помещения.

Суточные теплопотупления суммарной солнечной радиации (на 1 м² окна) через окна южной ориентации в июле (48 с.ш.) приведены на рис. 5. Указанные значения рассчитаны на основе часовых значений солнечной радиации с учетом оптических свойств стеклопакетов и затенения непрозрачными элементами окна.

Как видно (рис. 5), максимальные солнечные теплопотупления (1 747 кВт·ч/м² за сутки) происходят через окно с однокамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным и обычными стеклами. Такие конструкции могут создать существенный риск перегрева помещений летом. Применение внутренней деревянной шторы сокращает теплопотупления на 20,4%, следовательно, такое решение, наряду с затенением, дает заметный теплотехнический эффект. Повышается биопозитивность окна. Более высокий теплотехнический эффект дает применение солнцезащитного стекла, которое позволяет снизить теплопотупления через окна на 30,6% по сравнению с конструкцией 1. Динамический контроль теплопотуплений от солнечной радиации за счет применения электрохромного стекла позволяет достичь наибольшего теплотехнического эффекта (81%).

Таким образом, строительство здоровых зданий с умными окнами позволит системно решить актуальную проблему повышения качества среды обитания и сохранения энергии для будущих поколений.

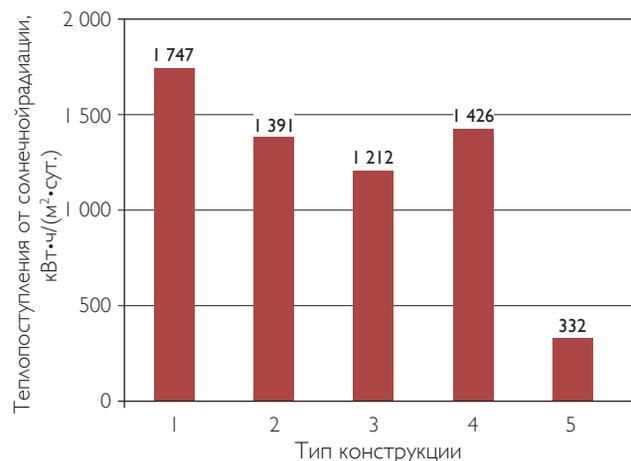


Рис. 5. Теплопотупления суммарной солнечной радиации через окна южной ориентации в июле (48° с. ш.)

Литература

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 192 с.
2. Горшков А.С., Миков В.Л. Проектирование ограждающих конструкций в странах Европейского союза и России // Светопрозрачные конструкции. 2017. № 5 (115). С. 46–54.
3. Gutai M., Kheybari A.G. Energy consumption of hybrid Smart Water-filled glass (SWFG) building envelope // Energy Buildings. 2021. Vol. 230. P. 110508.
4. Korniyenko S. Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: case study // E3S Web of Conferences. 2018. P. 02005.
5. Табунщиков Ю.А. Москва – умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. С. 12–13.
6. 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. Pp. 141–154.
7. Chow T.-T., Li C., Lin Z. Innovative solar windows for cooling-demand climate // Solar Energy Materials. 2010. Vol. 94 (2). Pp. 212–220.
8. Anci M., Karabay H., Kan M. Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows // Energy Buildings. 2015. Vol. 86. Pp. 394–402.
9. 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.
10. Корниенко С.В., Глуховева Д.Ф. Влияние размещения оконного блока по толщине стены на теплопотери // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4 (67). С. 62–71.
11. Carlos J.S. Optimizing the ventilated double window for solar collection // Solar Energy. 2017. Vol. 150. Pp. 454–462.
12. Корниенко С.В., Миков В.Л., Навроцкий Б.А. Окна умного города // Социология города. 2020. № 4. С. 5–18. ■