

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2023.1.32.003>

ПРИМЕНЕНИЕ «УМНОГО СТЕКЛА» В АРХИТЕКТУРЕ

Научная статья

Макеева Ю.В.^{1*}, Кузнецова Н.В.²

² ORCID: 0000-0003-0469-9560;

^{1,2} Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

* Корреспондирующий автор (juliamak51299[at]gmail.com)

Аннотация

«Умное стекло» – это многослойное безопасное стекло, которое имеет два состояния: прозрачное и матовое. Изменение состояния материала происходит посредством подачи электричества на стекло.

Целью статьи является обзор свойств материала и вариантов его применения. В данном материале рассматриваются области применения «умного стекла» в архитектуре. Приводится краткая история создания изучаемого материала. Описываются основные свойства, характеристики и особенности стекла. Излагаются основные принципы работы. Проводится оценка преимуществ и недостатков.

В статье представлено проектное предложение в области архитектуры: здание с использованием технологии «умного стекла» в качестве ограждающих конструкций.

Ключевые слова: архитектура, ограждающие конструкции, освещение, светопрозрачные конструкции, строительные материалы, технологии, энергоэффективность.

THE USE OF "SMART GLASS" IN ARCHITECTURE

Research article

Makeeva Yu.V.^{1*}, Kuznetsova N.V.²

^{1,2} Tambov State Technical University, Tambov, Russia

* Corresponding author (juliamak51299[at]gmail.com)

Abstract

"Smart glass" is a multilayer safe glass that has two states: transparent and frosted. The change in the state of the material is achieved through the supply of electricity to the glass.

The aim of the article is to review the properties of the material and ways of its application. This article examines the use of "smart glass" in architecture. A brief history of the creation of the studied material is presented. The main properties, characteristics and specifics of glass are described. The basic principles of its work are disclosed. Its advantages and disadvantages are evaluated.

The article presents a project proposal in the field of architecture: a building with "smart glass" technology as enclosing structures.

Keywords: architecture, enclosing structures, lighting, translucent structures, building materials, technologies, energy efficiency.

Введение

«Умное стекло» – это стекло или остекление, светопропускающие свойства которого изменяются при приложении напряжения.

Материал появился на российском рынке недавно, его уникальность заключена в переменной прозрачности. Технология быстро развивается, представляя большой интерес с точки зрения архитектуры, дизайна, энергосбережения и экологии. Материал позволяет контролировать солнечное излучение, попадающее в здание, а также видимость и конфиденциальность людей, не жертвуя визуальным комфортом, возникающим в результате использования большой стеклянной поверхности.

Между двумя слоями обычного стекла находится жидкокристаллическая пленка, подключенная к току низкого напряжения. В обычном состоянии – матовое, непрозрачное, если электричество включено – имеет высокую прозрачность и имеет свойства обычного стекла (см. рис. 1).



Рис. 1 – Демонстрация двух состояний «умного стекла»

История создания

Когда у инженера Стив Абади появилась идея создания «умного стекла» были 70-е годы и технологий для воплощения проекта в жизнь не существовало. Изобретателю пришлось ждать два десятилетия. Только в 1984 г. «умное стекло» LC Glass появилось на свет. Но общественность не оценила изобретение по достоинству, и стекло еще годы было невостребованным. Оно обрело популярность в 2003 г. Стивом было выпущено умное стекло под торговой маркой E-Glass. Тогда С. Абади основал компанию Innovative Glass Corporation [1].

Основные характеристики

Технические характеристики «умного стекла» могут различаться:

- замутненность – 5-7% [3];
- светопропускание от 75% и более;
- энергопотребление – 3-5 Вт на м²;
- напряжение – 12, 24 или 48 В;
- толщина от 6 мм;
- число циклов вкл./выкл. – от 30 млн.;
- срок службы составляет более 10 лет.
- прочность на сжатие – от 500 до 2500 МПа (соответствует прочности обычного стекла, может быть увеличена до более 2500 МПа при использовании технологий, укрепляющих стекло) [7].

Средняя стоимость составляет 15-20 тыс. рублей за м². Высокая стоимость делает данный материал недоступным для массового строительства. Но можно предположить, что произойдет уменьшение стоимости в будущем вследствие совершенствования технологий производства [2].

Стоит отметить, что «умное стекло» может быть наделено рядом дополнительных свойств:

1. Стекло может иметь высокую прочность. Для этого применяется технология бронирования. Сверху «умного стекла» размещают особую пленку, которая препятствует растрескиванию и рассыпанию стекла. Данная технология позволяет безопасно использовать его в общественных местах.
2. Стеклу можно придать любой желаемый оттенок путем наклеивания дополнительной пленки.
3. Возможно применение обработки пескоструйным методом. Это дает возможность декорировать стекло путем создания на нем рисунка. Пескоструйная обработка позволяет декорировать стекло. Это смотрится эффектно в общественных пространствах.
4. Изделие из «умного стекла» может иметь любую форму. Так же в нем возможно размещение отверстий.

Технология производства

«Умное стекло» является многослойным материалом, состоящим из трех частей:

- 1) Первый слой прозрачного стекла
- 2) Двухслойная пленка. Между ее слоями размещаются жидкие кристаллы, меняющие свойства под действием электричества.
- 3) Второй слой прозрачного стекла.

Для управления прозрачностью стекла к нему подключается блок, который регулирует подачу слабого тока на жидкокристаллическую пленку. Распространенные технологии изготовления в зависимости от вида пленки:

- EVA – пленка из этиленвинилацетата;

- TPU – термопластичный полиуретан;
- PVB – поливинилбутиральная пленка [4], [5], [6].

Основные принципы работы

Уникальные свойства «умного стекла» зависят от его особенной конструкции. Когда на жидкокристаллическую пленку, расположенную между стеклами, поступает ток, тогда возникает электромагнитное поле. Оно воздействует на кристаллы внутри, и они меняют свое направление. Порядок кристаллов из хаотичного становится упорядоченным под воздействием поля. Это напрямую влияет на характеристики стекла: оно теряет матовость и становится прозрачным. Потоки света проходят через «умное стекло» свободно, без препятствий в виде хаотично расположенных кристаллов.

Подаваемую на кристаллы силу тока возможно регулировать. Для этого используется специальный блок. При низком напряжении изделие имеет лишь частичную прозрачность. Когда напряжение увеличивается – увеличивается и прозрачность. (см. рис. 2).

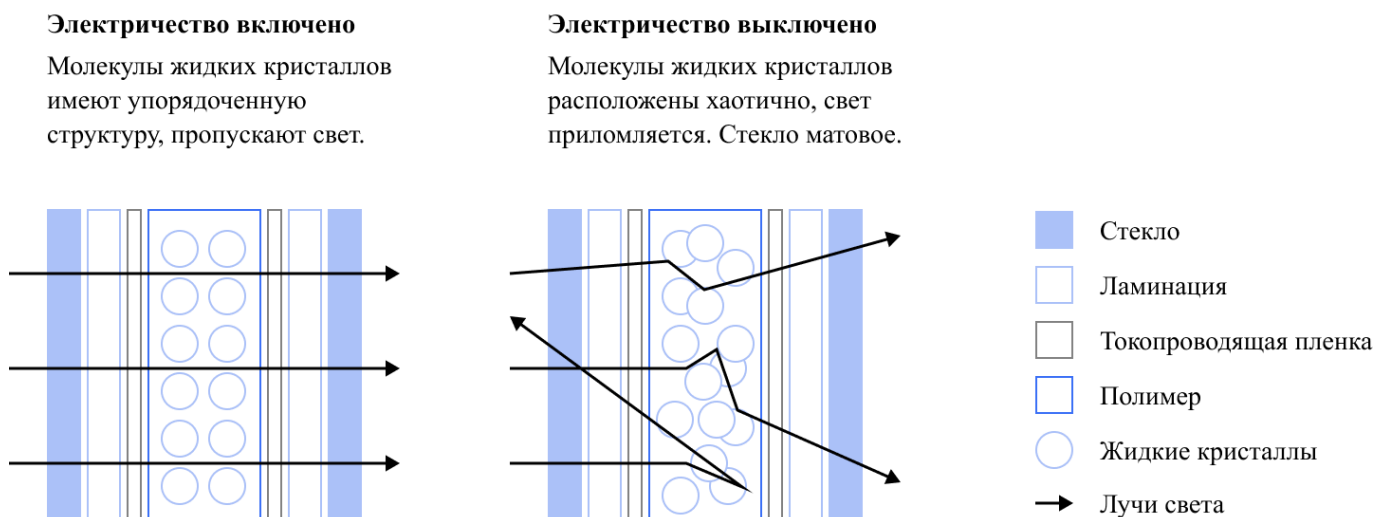


Рис. 2 – Структура «умного стекла» при включенном и отключенном напряжении

Преимущества и недостатки

«Умное стекло» как и любой другой материал имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинства:

- выполнение нескольких функций одновременно в сравнении с простым стеклом;
- высокая прочность;
- современная альтернатива шторам и жалюзи;
- возможность создания уникального дизайна и формы;
- управляется низковольтным питанием;
- энергосбережение;
- звукоизоляция;
- защита от УФ-излучения.

Стекло совершенствуется с каждым годом, и актуальные виды обладают высокой степенью прозрачности и светопропускаемости. Также появляется возможность размещать жидкокристаллическую пленку не между стеклами, а приклеивать на поверхность, что значительно упрощает монтаж.

Недостатки:

- высокая стоимость;
- необходимость в подаче тока.

Стоимость стекла высокая, но его применение в то же время помогает экономить. Ограждающие конструкции из «умного стекла» помогают защитить здания и строения от солнечной радиации и устранить проблему перегрева. Это помогает значительно снизить расходы на кондиционирование. Применение данного свойства актуально для жаркого климата [8].

Ученые работают над повышением эффективности энергосбережения «умного стекла». Так, например, нидерландский студент запатентовал технологию – стекло получает энергию солнечной радиации и при ее помощи может менять прозрачность. В России технологию улучшили – помимо самообеспечения энергией стекло аккумулирует ее излишки. Появляется возможность снабдить ей другие устройства в доме.

Некоторые виды «умного стекла» имеют недостатки. Например, материал со взвешенными частицами требует специальных покрытий, чтобы блокировать ультрафиолетовые лучи [10].

Недостаток электрохромного стекла – низкая скорость перехода от одной фазы к другой. Приобретение прозрачности занимает до нескольких минут.

Сферы использования

Первые образцы материала применялись лишь в офисах. Из них делали перегородки для зонирования пространства. Позже технология стала более доступной, а ее стоимость снизилась. Так «умное стекло» получило широкое применение.

Можно выделить 2 основных традиционных направления использования:

1. Применение в качестве перегородок для зонирования и в качестве дизайнерских элементов.
2. Светопрозрачные ограждающие конструкции.

Применение внутри помещений позволяет делить пространство на зоны, создавая приватные пространства. В то же время эти места с легкостью могут поменять свою функцию, став общедоступными при изменении фазы стекла на прозрачную. Часто данный вариант реализуют в офисах для разделения мест сотрудников, кабинетов, переговорных. Переменная прозрачность позволяет достигнуть эффекта уединенности, а звукоизолирующая способность «умного стекла» делает комнаты не только защищенными от посторонних глаз, но и сохраняет конфиденциальность разговоров. Когда необходимость в изоляции отпадает, стекло с лёгкостью можно сделать прозрачным.

«Умное стекло» применено в здании автосалона Audi, Корея, Сеуле. Медиа-фасад выполнен на базе стекла Корейского производителя компании DMDisplay.

Особенно стильный пример того, как архитекторы могут использовать технологию «умного стекла» при проектировании входа в здание, можно увидеть в Восточном Винтергардене в лондонском торговом центре Кэнэри-Уорф, который построила известная архитектурная фирма Pelli Clarke Pelli.

Проектное предложение

Проектное предложение типового решения смотрового укрытия для наблюдения за дикой природой. Выполняющее функцию приюта для путешественников (см. рис. 3). Ограждающие конструкции здания выполнены из «умного стекла». Проект для размещения в I климатической зоне России.

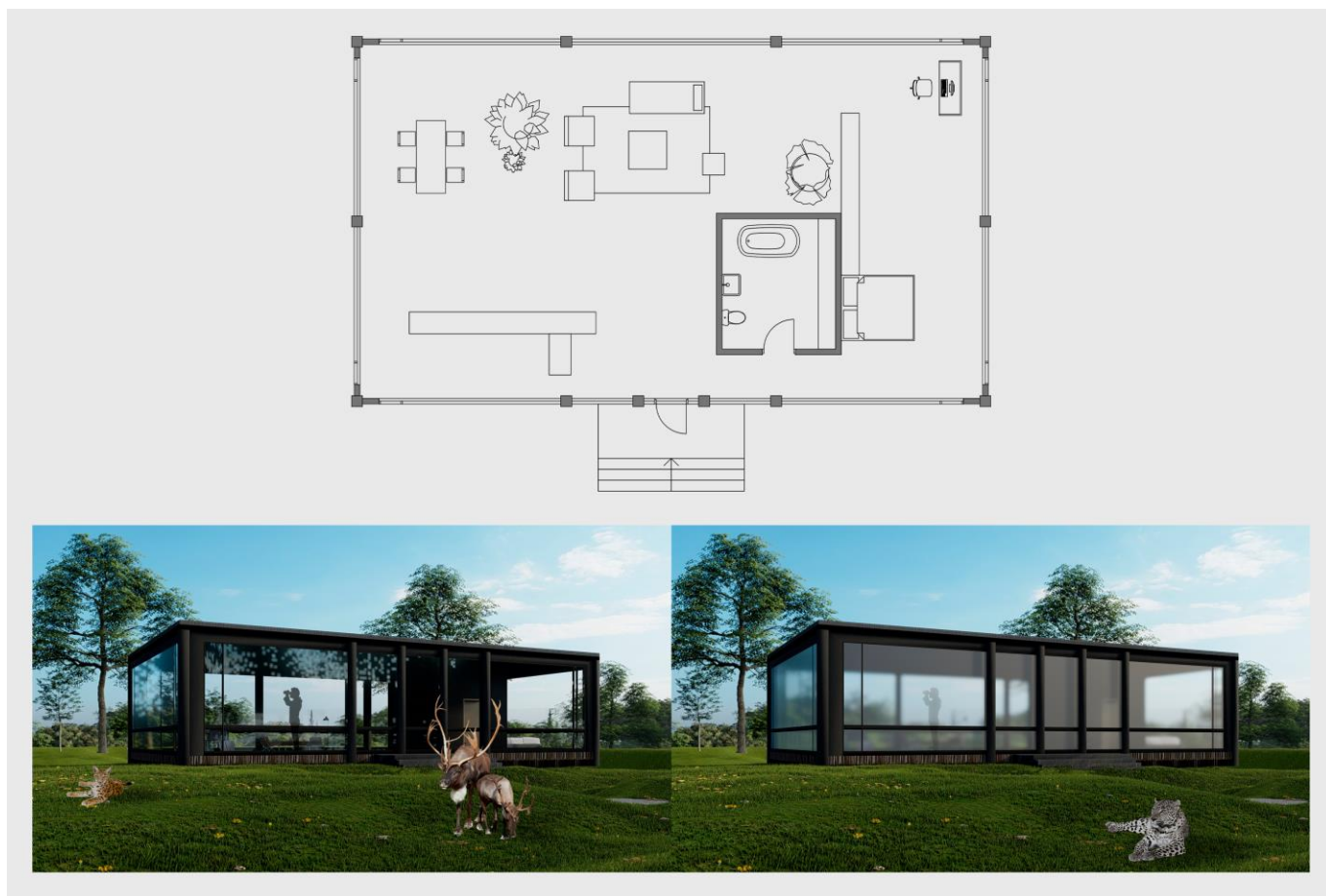


Рис. 3 – Эскизное решение смотрового укрытия из «Умного стекла»: план на отметке ± 0.000 м, визуализация двух состояний «умного стекла»

Заключение

«Умное стекло» является уникальным материалом в своей группе. Отмечается рост производства и применения материала в сфере архитектуры. Самыми популярными способами использования являются: применение в качестве перегородок для зонирования и в качестве светопрозрачных ограждающих конструкций. Преимущества преобладают над недостатками. Свойства характеризуют материал как многофункциональный, прочный и энергоэффективный.

Использование «умного стекла» с переменной прозрачностью в архитектуре говорит о высоком развитии технологий строительства. Производство и свойства данного материала постоянно совершенствуются, что делает его все более доступным и расширяет возможности его применения.

Широкое распространение и вариативность использования данного материала, дает возможность прогнозировать рост рынка «умного стекла», а также сопутствующие этому улучшение качества и снижение стоимости.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

Список литературы / References

1. Донцова А.Е. Стекло с управляемой прозрачностью (smart window) в гражданском строительстве / А.Е. Донцова, А.В. Калинина // *Alfabuild*. — 2018. — № 4 (6). — С. 74-82
2. Pattathil P. Self-powered NIR-selective dynamic windows based on broad tuning of the localized surface plasmon resonance in mesoporous ITO electrodes / P. Pattathil, R. Giannuzzi, M. Manca // *Nano energy*. — 2016. — Vol. 30. — P. 242-251
3. Chang-Mook L. Polarization and incidence angle-dependent transmittance of transparent nickel electrodes with various thicknesses / L. Chang-Mook, C. Jaewu // *Optical Materials*. — 2011. — Vol. 33. — Iss. 6. — P. 859-864
4. Bogati S. Tetramethylthiourea (TMTU) as an alternative redox mediator for electrochromic devices / S. Bogati, A. Georg, C. Jerg [et al.] // *Solar energy materials and solar cells*. — 2016. — Vol. 157. — P. 454-461
5. Laurie W. Nanocrystalline titania for smart windows. / W. Laurie // *Materials Today*. — 2014. — Vol. 17. — Iss. 7. — P. 316-317
6. Panagopoulou M. Thermochromic performance of Mg-doped VO₂ thin films on functional substrates for glazing applications / M. Panagopoulou, E. Gagaoudak, N. Boukos [et al.] // *Solar energy materials and solar cells*. — 2016. — Vol. 157. — P. 1004-1010
7. Никоноров Н.В. Оптическое материаловедение: основы прочности оптического стекла / Н.В. Никоноров, С.К. Евстропьев // Учебное пособие, курс лекций. — СПб: СПбГУ ИТМО — 2009. — С. 102
8. Чудинов Д.М. Разработка новых интеллектуальных светопрозрачных ограждающих конструкций зданий / Д.М. Чудинов, К.Н. Сотникова, К.С. Щербаков [и др.] // *Инженерные системы и сооружения*. — 2010 — № 1. — С. 93-97
9. Саяпина Д.Г. «Умное» стекло в современном доме / Д.Г. Саяпина, Е.Б. Коробий // *Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. — 2013. — Т. 2. — С. 145-151
10. Каратаев Л.П. Совершенствование светопрозрачных конструкций / Л.П. Каратаев // *Вестник гражданских инженеров*. — 2011. — № 2. — С.45-50

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dontsova A.E. Steklo s upravleniyem oborotom (umnoye okno) v grazhdanskom stroitel'stve [Glass with circulation control (smart window) in civil engineering] / A.E. Dontsova, A.V. Kalinina // *Alfabuild*. — 2018. — № 4 (6). — P. 74-82 [in Russian]
2. Pattathil P. Self-powered NIR-selective dynamic windows based on broad tuning of the localized surface plasmon resonance in mesoporous ITO electrodes / P. Pattathil, R. Giannuzzi, M. Manca // *Nano energy*. — 2016. — Vol. 30. — P. 242-251
3. Chang-Mook L. Polarization and incidence angle-dependent transmittance of transparent nickel electrodes with various thicknesses / L. Chang-Mook, C. Jaewu // *Optical Materials*. — 2011. — Vol. 33. — Iss. 6. — P. 859-864
4. Bogati S. Tetramethylthiourea (TMTU) as an alternative redox mediator for electrochromic devices / S. Bogati, A. Georg, C. Jerg [et al.] // *Solar energy materials and solar cells*. — 2016. — Vol. 157. — P. 454-461
5. Laurie W. Nanocrystalline titania for smart windows. / W. Laurie // *Materials Today*. — 2014. — Vol. 17. — Iss. 7. — P. 316-317
6. Panagopoulou M. Thermochromic performance of Mg-doped VO₂ thin films on functional substrates for glazing applications. / M. Panagopoulou, E. Gagaoudak, N. Boukos [et al.] // *Solar energy materials and solar cells*. — 2016. — Vol. 157. — P. 1004-1010
7. Nikonorov N.V. Opticheskoe materialovedenie: osnovy prochnosti opticheskogo stekla [Optical Materials Science: Fundamentals of Optical Glass Strength] / N.V. Nikonorov, S.K. Evstrop'ev // *Uchebnoe posobie, kurs lekciy* [Textbook, course of lectures]. — SPb: SPbGU ITMO — 2009. — P. 102 [in Russian]
8. Chudinov D.M. Razrabotka novyh intellektual'nyh svetoprozrachnyh ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy [Development of new intelligent translucent building envelopes] / D.M. Chudinov, K.N. Sotnikova, K.S. Shcherbakov [et al.] // *Inzhenernye sistemy i sooruzheniya* [Engineering systems and structures]. — 2010 — № 1. — P. 93-97 [in Russian]
9. Sayapina D.G. «Umnnoe» steklo v sovremennom dome ["Smart" glass in a modern house] / D.G. Sayapina, E.B. Korobij // *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU* [New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU]. — 2013. — Vol. 2. — P. 145-151 [in Russian]
10. Karataev L.P. Sovershenstvovanie svetoprozrachnyh konstrukcij [Improvement of translucent structures] / L.P. Karataev // *Vestnik grazhdanskih inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. — 2011. — № 2. — P. 45-50 [in Russian]