journal homepage: [www.alfabuild.spbstu.ru](http://www.alfabuild.spbstu.ru)

doi: 10.34910/ALF.13.3

## Smart-остекление в гражданском строительстве

### Smart glazing in Civil Engineering

Р.А. Торшилов <sup>1</sup>, О.С. Гамаюнова <sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

R.A. Torshilov <sup>1</sup>, O.S. Gamayunova <sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

строительство,  
гражданское строительство,  
энергоэффективность,  
Smart-стекло,  
смарт-стекло,  
остекление,  
нанотехнологии

#### KEYWORDS

construction,  
civil engineering,  
energy efficiency,  
smart window,  
glazing,  
nanotechnology

#### АННОТАЦИЯ

Smart-стекло - это конструкции из слоев стекла и химических материалов, способные изменять свойства при подаче электричества или изменении внешних условий - освещенности, температуры. Основная сфера применения Smart-стекла - перегородки и ограждающие конструкции, остекление автомобилей, защита музейных экспонатов от ультрафиолета и др. В статье рассматриваются технологии Smart-остекления, их различия, достоинства и недостатки; приводятся основные технические характеристики Smart-стекол и плёнок для их ламинирования; приводятся примеры использования Smart-остекления в гражданском строительстве и прочих сферах. Представлен обзор литературы отечественных и зарубежных авторов по теме Smart-остекления. Выявлено, что с развитием Smart-технологий произошло улучшение технических характеристик стекла при уменьшении его стоимости, что ведет к увеличению доступности данного материала и более широкому применению в сфере гражданского строительства.

#### ABSTRACT

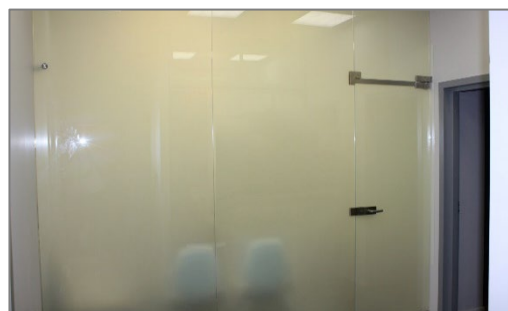
Smart window is a structure made of layers of glass and chemical materials that can change properties when applying electricity or changing external conditions - light, temperature. The main scope of Smart window is partitions and building envelopes, automobile glazing, UV protection of museum exhibits, etc. The article discusses the technology of Smart glazing, their differences, advantages and disadvantages; the main technical characteristics of Smart windows and films for their lamination are given; examples of the use of Smart glazing in Civil Engineering and other areas are given. A review of the literature of domestic and foreign authors on the topic of Smart glazing is presented. It was revealed that with the development of Smart technologies, the technical characteristics of glass improved with a decrease in its cost, which leads to an increase in the availability of this material and wider application in the field of Civil Engineering.

#### Введение

В наше время благодаря новым технологиям и уникальным открытиям стала возможна реализация и внедрение новых архитектурных и дизайнерских решений. Стекло - это один из наиболее дешевых и наиболее применяемых материалов в строительстве. Стекло занимает первостепенное значение при проектировании ограждающих конструкций и улучшении качества освещения [1–3]. Так же применяются различные типы стекол, некоторые из них имеют возможность изменения свойств. Данный вид приобрел название Smart-остекление [4].

Smart-стекло - это конструкции из слоев стекла и химических материалов, способные изменять свойства при подаче электричества или изменении внешних условий - освещенности, температуры. Smart-стекло производится методом триплексования двух или более листов стекла, поликарбоната или их сочетания.

В настоящее время Smart-стекла имеют достаточно широкую сферу применения: медучреждения, ванны комнаты и душевые, презентационные экраны, автомобильная индустрия, защита музейных экспонатов от ультрафиолета, примерочные в магазинах, кассовые зоны банков, витрины и др. (рисунок 1).



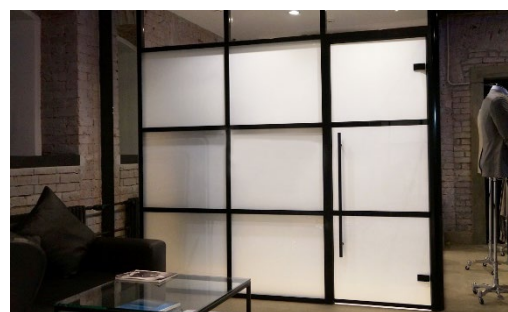
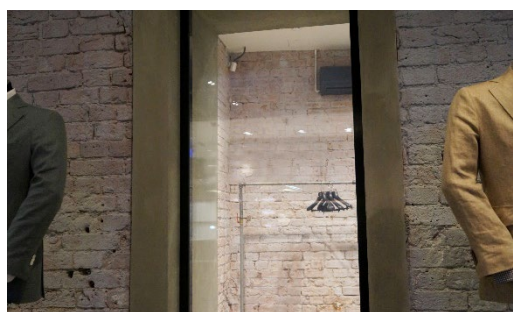
а) бизнес-сегмент (оформление конференц-залов и переговорных)



б) сфера культуры и искусства (Smart-стекло с регулируемой прозрачностью отлично подходит для создания выставочных стендов, проекционных экранов разного размера)



в) банковский сектор (остекление переговорных и касс по обмену валют)



г) сфера торговли (отделка витрин, примерочных и других зон)

**Рисунок 1 - Применение Smart-стекла [5]**

В гражданском строительстве, как правило, Smart-стекло используется для изготовления светопрозрачных конструкций, таких как: окна, перегородки и двери. Основное же его использование - внутренние перегородки и двери для организации переговорных.

К Smart-стеклам также можно отнести звуковые, сенсорные, электрообогреваемые, самоочищающиеся и автоматически открывающиеся по времени или по сигналу датчика осадков.

Современное Smart-стекло последнего поколения имеет более низкий уровень замутнения и может управляться низковольтным питанием от 12 до 36 Вольт.

## Обзор литературы

Рассматривая исследования, посвященные уникальности методики Smart-остекления можно выделить несколько приведенных ниже работ отечественных и зарубежных авторов.

Закируллин Р.С. и Оденбах И.А. в статьях [6–9] описывают сложность использования инновационных Smart-окон и разбирают применение совместно с другими материалами. Smart-стекло, предназначенное для регулирования пропускания солнечных лучей без применения жалюзи или иных механических систем. Регулирование осуществляется благодаря оптическому светопропускному фильтру, состоящему из пары поверхностных тонкопленочных решеток с полосами, пропускающими и не пропускающими солнечные лучи, расположенных под оптимальным углом по направлению к траектории солнца. В окнах применяют хромогенные материалы для избегания бликов и перегрева стекол.

Гурков И.А. и Ан П.С. в своей работе [10] основной упор делают на концепцию работы «пассивного» дома, использование солнечной энергии в комплексе со Smart-остеклением и правильным расположением строительных конструкций. Хорошая герметичность позволяет сокращать энергопотребление и теплопотери. Smart-остекление относится к биоклиматической архитектуре, к так называемой постройке из экологически чистых материалов, при эксплуатации которой не образуются выбросы, неблагоприятные для окружающей среды и отходы.

Благодер Т.П. и Никишина А.А. в своей статье [11], посвященной пассивным домам, основной упор делают на важность Smart-остекления, как составляющей полного цикла возобновляемых источников энергоэффективного строительства.

Иконописцева О.Г. в своей работе [12] рассказывает про интеллектуальные и высокотехнологичные объекты, в том числе, применение Smart-остекления. Климатически чувствительные здания, благодаря сформированному полному замкнутому циклу движения тепла, обладают свойствами аккумуляции энергии, что в свою очередь, так же применимо для высотных зданий.

Амиров В.Р. и Подерни Е.Ю. в своей статье [13] рассматривают основные особенности Smart-стекол: самоподогрев, защита от солнца, защита от шума и использование дополнительных покрытий для усиления прочности, дизайнерские и цветовые решения. Выделяются два вида стекол с функцией энергосбережения: Low-e стекло с твердым покрытием и Double Low-e с мягким, различия в количестве пропускаемого света и его отражении. В статье подробно рассмотрены принципы Smart-стекол и их применение. Также авторы исследуют экономический эффект применения энергоэффективных светопрозрачных конструкций [14].

Тищенко Л.А. и Смагина И.В. в своей работе [15] рассматривают новое принятое распоряжение Правительства РФ о применении цифровых технологий и инновационных материалов в строительстве. Internet of Things - одно из востребованных направлений в современном строительстве, делает возможным обработку большого количества данных для наиболее функционального применения технологий и материалов, в том числе и Smart-остекление. Главным критерием является экономия энергии и многофункциональность.

Черемисина Е.В. в своей статье [16] рассматривает светопропускающие конструкции, применяемые в современном строительстве. Одним из новшеств является материал с изменяющимися свойствами или Smart-стекло. Одним из главных недостатков Smart-остекления является невозможность контроля свойств при изменении внешних факторов.

Карапетян К.М. в своей работе [17] рассматривает применение Smart-стекол, разбирая уникальность и преимущества. В эстонском исследовательском университете разработали Smart-стекло с изменяемой прозрачностью, называемое PDLC. Данная технология триплексирования набирает обороты в России и применяется в Москве и Санкт-Петербурге при строительстве высотных зданий, бизнес-центров, в том числе, уникального высотного здания Лахта Центра, строительство которого заканчивается в Петербурге [18].

Алтунян А.О., Саусь А.А. и Клименко Н.Е. в своей работе [19] рассматривают применение кровли из Smart-стекла как более экономически выгодной и универсальной. Для создания стеклянной крыши применяют Smart-панели размером с обычную черепицу, уникальность в том, что такой тип покрытия получает тепло из воздуха, количество которого достаточно для отопления всего здания, в том числе, и нагрева воды, подаваемой для других нужд.

Piccolo A. и Simone F. в статье [20] провели комплексный и систематический анализ оптимальных требований к электрохромным окнам с точки зрения энергоэффективности здания и комфорта в помещении. Также сделано сравнение с характеристиками электрохромной конструкции, испытанной в условиях лабораторного контроля, и электрохромного остекления большой площади, доступного в настоящее время на рынке. Исследование указывает на реальный потенциал электрохромной технологии для использования Smart-стекол и определяет их некоторые желательные улучшения.

Термохромное стекло - это тип Smart-стекла, свойства солнечного излучения которого зависят от температуры. Считается, что усиление солнечного излучения в комнате может быть разумно отрегулировано с помощью термохромных стекол, что приводит к более низкому потреблению энергии, по сравнению с обычными стеклами. Как должно вести себя Smart-стекло? Является ли Smart-стекло действительно лучшим вариантом для энергоэффективных конструкций? Ответы на эти вопросы представлены в работе Long L. и Ye H. [21].

Granqvist C.G. в своей работе [22] уделяет электрохромному стеклу (ECD). Автор рассматривает дизайн и свойства ECD-стёкол, уделяя особое внимание прозрачным конструкциям с их использованием.

Wang Y. со своими коллегами в статье [23] рассматривают основные принципы и последние разработки в области электрохромных, фотохромных и термохромных материалов для применения в Smart-окнах. По сравнению с современными статическими окнами Smart-окна могут динамически моделировать коэффициент пропускания солнечного излучения в зависимости от погодных условий и личных предпочтений человека, тем самым одновременно повышая энергоэффективность здания и комфорт в помещении. Последние достижения в области наноматериалов открывают новые возможности для технологии Smart-окон. Наноматериалы могут обеспечить повышенную эффективность покрытия, более быструю кинетику переключения и более длительный срок службы.

## Основная часть

Про Smart-стекло, как об уникальном строительном материале, заговорили всего несколько десятилетий назад, до этого времени стекольное производство развивалось медленно и сводилось в основном к остеклению окон.

Первой сферой применения Smart-стекол были здания офисного назначения, далее при совершенствовании технологий и улучшении показателей сфера применения расширилась до гражданского и промышленного строительства.

Первой и основной компанией по производству Smart-стекла принято считать компанию «Innovative Glass Corporation», которая вывела на рынок электронное стекло под торговой маркой «E-Glass» [24]. В России умное стекло появилось в 2009 году, и со временем стало применяться не только в офисных зданиях для обеспечения конфиденциальности переговоров, но в Smart ряде объектов элитной недвижимости России - офисах крупных банков, культурных центрах и загородных домах, многоуровневых квартирах и др.

Метод изготовления Smart-стекол придуман более 20 лет назад и с тех пор постоянно совершенствуется. Современные Smart-стекла стали потреблять меньше энергии и стоимость их с каждым годом снижается, что говорит о наметившемся тренде на его массовое использование [25, 26].

На сегодняшний день существует три основных технологии производства Smart-стекла (таблица 1).

Таблица 1. Основные технологии производства Smart-стекла

Технология	Описание технологии
<b>SPD</b> ( <i>Suspended Particle Devices</i> ) покрытие с применением взвешенных частиц	Тонкая пленка по типу как для ламинирования материалов в виде стержней и полосочек размещается между двумя слоями стекла с взвешенными частицами, помещенными в жидкостях. Если напряжение не приложено, взвешенные частицы ориентированы случайным образом и поглощают свет, поэтому стекло становится темно-синим, серым или черным. При возникновении напряжения, взвешенные частицы выравниваются, и стекло становится прозрачным. Разница между этим стеклом от других заключается в том, что пропускающая способность присутствует в любом случае.
<b>PDLC</b> ( <i>Polymer Dispersed Liquid Crystals</i> ) покрытие с применением жидких кристаллов и полимеров	В смесях жидких кристаллов и полимеров происходит диспергирование жидкого полимера и затвердевание. В этом процессе жидкие кристаллы из-за смены кристаллической решетки становятся несовместимыми с твердым полимером и образуют включение в полимер, что изменяет свойства Smart-стекла. Без возникающих нагрузок, жидкие кристаллы находятся в хаотичном состоянии, что приводит к рассеиванию параллельных лучей света и образованию непрозрачной матовой структуры. Если напряжение подается на проводящие слои, жидкие кристаллы упорядочиваются, и создают прозрачность
<b>ECD</b> ( <i>Electro Chromatic Devices</i> ) покрытие с электрохромным слоем	Переменный средний слой в этой технологии включает в себя накопление ионов лития. Прозрачность материала - это регулируемое возникающее напряжение, при котором контролируется количество передаваемого света и тепла, а также состояние изменения между цветом, полупрозрачным и непрозрачным. Возникаемые напряжения должны изменять степень прозрачности без применения электричества.

При разработке и формировании Smart-остекления невозможно полностью уйти от негативного воздействия агрессивных сред, поэтому обязательным этапом является покрытие стекла защитной пленкой – ламинирование.

Для Smart-стекол применяют различные виды пленок (таблица 2).

**Таблица 2. Основные виды плёнок, применяемых для Smart-стекол**

Вил плёнки	Преимущества	Недостатки
TPU - термопластичный полиуретан	устойчивость к влаге и другим агрессивным средам, невосприимчивость к нагрузкам	высокая стоимость и сложность производства
PVB - поливинилбутиральная плёнка	высокое качество, низкая цена, хорошее сцепление со стеклом	отсутствие сцепления с пластиком, недолговечность при попадании влаги
EVA - этиленвинилацетатная плёнка	отличное сцепление со стеклом и пластиком, низкая цена и легкое производство	восприимчивость к влаге и агрессивным средам, отслоение и расслоение, высокий процент мутности

Smart-стекло – уникальная разработка со способностью изменять прозрачность и светопропускаемость. Краткие характеристики Smart-стекла представлены в таблице 3 [27].

**Таблица 3. Характеристики Smart-стекла**

Характеристика	Значение
Светопропускание	Не менее 75%
Опалесценция	5-7%
Управляющее напряжение	12-36 вольт
энергопотребление	5 ватт/м <sup>2</sup>
Количество циклов вкл/выкл	более 30 000 000
Время переключения	менее 100 миллисекунд
Макс. размер изделий (без разрывов)	1530x3050 мм
Минимальная толщина	6 мм
Максимальная толщина	Не ограничена
Форма изделий	Любая, включая отверстия
Рабочая температура	от -30 до +75 °С
Срок службы	более 10 лет

Smart-стекло набирает популярность за счет большого спектра преимуществ, таких как многофункциональность, матовое покрытие, рассеивание света под разными углами. Благодаря использованию уникального остекления существенно сокращаются теплопотери и расходы на электроэнергию, стекло можно использовать одновременно как шторы или жалюзи, создавая тень или пропуская свет в солнечную и ясную погоду.

Усовершенствованные стекла дополняются наличием свободных радикалов и взвешенных частиц, позволяющих полностью уйти от мутности. Благодаря применению Smart-стекла в декоративных целях, увеличивается цветовой ряд и практичность, легкость и быстрота модернизации с помощью клеев и скотчей. Smart-стекла с каждым годом становятся все тоньше и легче, применяются пленки нового образца, входит упрощенный монтаж и хранение.

Главной проблемой, которую пытаются решить разработчики, является высокая цена, но в будущем эта проблема будет разрешена. Из-за популярной тенденции «города будущего», остекление заменяет большую часть конструкций зданий, из-за чего дневной свет проникает в наибольшем количестве в помещение и увеличивает температуру окружающей среды. Проблема перегрева не решается конструктивными особенностями из-за не контролируемой смены освещения и высокой чувствительности обычных стеклянных панелей. Использование Smart-остекления позволяет сократить энергопотребление, расходующиеся на вентиляцию и кондиционирование помещений.

В Европе большое внимание нацелено на разработку технологий самостоятельного воспроизводства электроэнергии из солнечной энергии и самоизменение параметров стекла, подстраиваемых под окружающую среду. Одновременное удовлетворение всех требований Smart-стекла возможно при использовании специальной люминесцентной пленки и особенной технологии оклейки. Российские ученые так же занимаются подобной разработкой; им удалось запатентовать пленку с нулевым коэффициентом

поглощения тепла. Данные разработки позволят сократить потребление ресурсов и сделать значительный скачок в энергетике.

В целом, глобальный рынок умного стекла в настоящий момент развивается очень бурно. Растет спрос на энергосберегающие продукты и экологически чистые здания. Но недостаток знаний потребителей о преимуществах Smart-стекол и пока еще слишком высокая стоимость создает препятствие для более интенсивного и глобального роста рынка Smart-стекол. Компании-лидеры в этой области стараются объединяться, сотрудничать и развиваться вместе с другими компаниями смежных областей, в том числе, с производителями и поставщиками химических продуктов, научно-исследовательскими институтами и т.д. Для оконных компаний в России умные окна открывают широкие перспективы. Производители и потребители только начинают «входить во вкус» и видеть преимущества новых технологий.

## Заключение

Изучая и анализируя литературу о Smart-технологиях и остеклении можно сделать вывод, что Smart-направление набирает обороты и актуальность во всех сферах строительства как жилого, так и промышленного.

Главное преимущество Smart-остекления - это аккумулирование тепла внутри помещения в холодный период времени и сохранение прохлады в летний, а также защита от проникновения ультрафиолетовых лучей. Так же для функции «хамелеона» и эффекта затемнения Smart-стекла используют в автомобилестроении, как лобового, заднего вида, так крыш и люков. Рекламная индустрия и сфера продаж широко задействованы в использовании Smart-остекления, витрины и рекламные стенды в большей своей степени выполнены из наностекол. Чем быстрее развиваются технологии, тем наиболее актуальными становятся нанотехнологии, в том числе, и Smart-остекление. Однако большинство потребителей не знают о существовании такого изобретения, а многие просто не в состоянии себе позволить его использование.

Развитие и внедрение Smart-стекла напрямую связано с технологическим прогрессом, т.е. чем больше появляется новых технологий, тем ниже становится стоимость такого рода остекления и возрастает доступность. Ежегодно во всем мире проводятся выставки Smart-технологий и проводится множество исследований по улучшению разработок в сфере Smart-остекления. К сожалению, торможение процессу развития создает плохая осведомленность потребителя и высокая цена.

Подытожив, хочется надеяться, что в ближайшие несколько лет рынок Smart-стекла будет только расти, открывая новые особенности и внедряя уникальные технологии. Анализ рынка позволяет предположить увеличение ежегодных темпов роста рынка в течение ближайших пяти лет.

### Литература / References

- [1]. Vatin N., Gamayunova O. Choosing the right type of windows to improve energy efficiency of buildings. (633–634)2014.
- [2]. Mokhireva A.O., Loginova P.V., Melekhin Ye.M., Kostarev V.I. Sistemy adaptivnogo regulirovaniya osveshcheniya v umnykh zdaniyakh // Alfabuild. 2018. № 2(4). S. 34–42.
- [3]. Bred S., Myurar M. Umnyye zdaniya s ispolzovaniyem IoT tekhnologiy // Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. № 5(20). S. 15–27.
- [4]. Gamayunova O., Gumerova E., Miloradova N. Smart glass as the method of improving the energy efficiency of high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. (33). S. 02046. DOI:10.1051/e3sconf/20183302046.
- [5]. Smart-steklo [Elektronnyy resurs]. URL: <https://thermo-glass.ru/smart-steklo> (data obrashcheniya: 13.01.2020).
- [6]. Zakirullin R.S. Opticheskiy filtr s uglovoy selektivnostyu svetopropuskaniya // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 9(158). S. 196–207.
- [7]. Zakirullin R.S. Opticheskiy filtr s uglovyim selektivnym svetopropuskaniyem // Chelyabinskii fiziko-matematicheskii zhurnal. 2013. № 25(316). S. 5–8.
- [8]. Zakirullin R.S., Odenbakh I.A. Optimizatsiya parametrov smart-okon s uchetom geograficheskikh koordinat zdaniya // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. № 9(209). S. 14–19.
- [9]. Zakirullin R.S., Odenbakh I.A. Kharakteristiki svetopropuskaniya smart-okon s uglovoy selektivnoy filtratsiyey solnechnogo izlucheniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2019. № 4(724). S. 106–113.
- [10]. Gurkov I.A., An P.S. Razvitiye tekhnologiy energoeffektivnykh zdaniy v Rossiyskoy Federatsii // Postulat. 2019. № 6(44). S. 63.
- [11]. Blagoder T.P., Nikishina A.A. Problema razvitiya “umnykh domov” v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki // Vyzovy tsifrovoy ekonomiki: usloviya, klyuchevyye instituty, infrastruktura sbornik statey I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2018. S. 194–198.
- [12]. Ikonopistseva O.G. Intellektualnyy gorod // Universitetskiy kompleks kak regionalnyy tsentr obrazovaniya, nauki i kultury. 2019. S. 245–251.
- [13]. Amirov V.R., Poderni Ye.Yu. Obzor rynka stekol primenitelno k teploizolyatsionnym svetoprozrachnym ograzhdayushchim konstruktsiyam // Investitsii, stroitelstvo, nedvizhimost kak materialnyy bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2018. S. 304–306.

- [14]. Amirov V.R., Poderni Ye.Yu. Ekonomicheskiy effekt primeneniya energoeffektivnykh svetoprozrachnykh konstruksiy // *Molodezh, nauka, tekhnologii: novyye idei i perspektivy (MNT-2017) Izbrannyye doklady IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh*. 2017. S. 210–213.
- [15]. Tishchenko L.A., Smagina I.V. Vnedreniye smart-schetchikov kak element tekhnologicheskogo napravleniya razvitiya umnykh domov // *Ekonomicheskaya sreda*. 2018. № 2(24). S. 26–32.
- [16]. Cheremisina Ye.V. Svetoprozrachnyye konstruksii v sovremennom mire // *Nauchnyye issledovaniya vysshey shkoly po priorityetnym napravleniyam nauki i tekhniki. Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2018. S. 194–198.
- [17]. Karapetyan K.M. Umnoye steklo v sovremennoy arkhitekture // *Kontsepsiya "Obshchestva znaniy" v sovremennoy nauke. Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2018. S. 127–130.
- [18]. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Thermal regime of enclosing structures in high-rise buildings. // *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering/Vestnik MGSU*. 2018. № 8(13). S. 935–943.
- [19]. Altunyan A.O., Saus A.A., Klimenko N.Ye. Ispolzovaniye steklyannykh paneley pri ustroystve krovli // *Kontsepsiya "Obshchestva znaniy" v sovremennoy nauke. Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2018. S. 124–126.
- [20]. Piccolo A., Simone F. Performance requirements for electrochromic smart window // *Journal of Building Engineering*. 2015. DOI:10.1016/j.jobe.2015.07.002.
- [21]. Long L., Ye H. How to be smart and energy efficient: A general discussion on thermochromic windows // *Scientific Reports*. 2014. DOI:10.1038/srep06427.
- [22]. Granqvist C.G. Electrochromism and smart window design // *Solid State Ionics*. 1992. DOI:10.1016/0167-2738(92)90418-O.
- [23]. Wang Y., Runnerstrom E.L., Milliron D.J. Switchable Materials for Smart Windows // *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*. 2016. DOI:10.1146/annurev-chembioeng-080615-034647.
- [24]. Smart-steklo - novaya realnost v stekolnoy industrii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.oknamedia.ru> (data obrashcheniya: 14.01.2020).
- [25]. Dontsova A.Ye., Kalinina A.V. Steklo s upravlyayemoy prozrachnostyu (smart window) v grazhdanskom stroitelstve // *AlfaBuild*. 2018. № 6(4). S. 73–82.
- [26]. Gamayunova O.S., Gumerova E.I. Energoberegayushcheye ostekleniye kak metod povysheniya energoeffektivnosti vysotnykh zdaniy // *Nedelya nauki SPbPU Materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Inzhenerno-stroitelnyy institut*. 2018. S. 339–341.
- [27]. Smart-steklo [Elektronnyy resurs]. URL: [https://steklo-burg.ru/smart\\_steklo](https://steklo-burg.ru/smart_steklo) (data obrashcheniya: 14.01.2020).

**Контактная информация**

- +79818191813; roman.torshilov@yandex.ru  
Роман Алексеевич Торшилов, студент
- \* +79219658825; gamayunova\_os@spbstu.ru  
Ольга Сергеевна Гамаюнова, старший преподаватель

**Contact information**

- +79818191813; roman.torshilov@yandex.ru  
Roman Torshilov, student
- \* +79219658825; gamayunova\_os@spbstu.ru  
Olga Gamayunova, Senior Lecturer