

УДК 620.91

Иванова Е.Ю. – старший преподаватель

E-mail: ivanova.e.u@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, Казань, ул. Зеленая, д. 1

Инновационные направления конструирования энергоэффективных ограждений

Аннотация

Постановка задачи. Требования к повышению эффективности энергоснабжения вплотную связана с рациональными конструктивными решениями, приемлемыми при проектировании зданий различных строительных систем. В данной работе рассмотрены энергоэффективные конструкции стен, окон и витражей, подвергнуты критическому анализу распространенные сегодня фасадные системы и рекомендованы пути их совершенствования.

Результат. Предложены инновационные решения, в основе которых лежит принципиально новый подход к использованию фотоэлементов в заполнениях оконных проемов и витражей, позволяющий им приспосабливаться к погодным условиям. Обозначены пути совершенствования фасадных систем, рассмотрены возможности адаптации нанотехнологий, успешно используемых в других отраслях промышленности, доказавших свою экономическую эффективность, к специфике строительной отрасли.

Выводы. Предлагаемые новые конструкционные решения помогают увеличить энергоэффективность ограждающих конструкций.

Ключевые слова: энергоэффективность, нанотехнологии, фасадные системы, инновационное направление, конструирование ограждений.

Научные исследования в рамках реализации государственных долгосрочных и целевых программ таких как «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 года» направлены на поиски инновационных энергосберегающих технологий. В частности, это позволило разработать и внедрить в практику строительства многослойные ограждающие конструкции взамен однородным, уступающим им по теплозащитным характеристикам. На сегодняшний день наиболее распространенными являются две фасадные системы. Это «мокрый» и «вентилируемый фасад». По прошествии 10-15 лет их внедрения в практику строительства появилась возможность произвести критический анализ и дать оценку этим системам. Возникла необходимость выявить эксплуатационные и прочие недостатки и разработать способы их устранения с целью повышения энергоэффективности зданий.

Кроме того, последние достижения науки в области производства материалов, нанотехнологий, дают возможность внедрить принципиально новые конструктивные решения ограждений зданий и сооружений.

Будучи впервые применёнными в России около 15 лет назад «вентилируемые фасады» обрели сегодня широкую популярность. Это объясняется тем, что они обеспечивают требуемое сопротивление теплопередаче и панельных, и кирпичных стен во всех регионах РФ. Каркасная система, выполненная из несущих профилей, обеспечивает крепеж облицовочных листов или плит и поддерживает дождевой экран. Кронштейны, выполненные из нержавеющей стали или алюминия, обеспечивают коррозионную стойкость монтажной системы. Характерной особенностью «вентилируемого фасада» является наличие в его конструкции воздушного зазора, который обеспечивает движение восходящего потока воздуха, возникающего из-за перепада давлений. Вместе с этим потоком удаляется из толщи стены конденсат.

Такое решение позволяет решить сразу несколько проблем, связанных с повышением энергоэффективности ограждения. Одна из них – это удаление конденсационной влаги, образующейся в толще стены. Утеплитель при этом не увлажняется в процессе эксплуатации и тем самым сохраняет свои первоначальные теплоизоляционные свойства.

Кроме того, воздушный зазор можно рассматривать как температурный буфер, температура которого на 2-3 градуса выше температуры наружного воздуха. В результате теплоизоляционные характеристики вырастают в 1,5 раза.

При всех выше перечисленных преимуществах «вентилируемых фасадов» нельзя не отметить недостатки, выявленные в процессе их эксплуатации. Согласно Своду правил СП 23-101-2000 «Проектирование тепловой защиты» ширина воздушного зазора варьируется в пределах 40÷100 мм, в то время, как в западноевропейской практике он составляет 25÷50 мм. Уменьшение ширины воздушной прослойки позволило бы сократить расход крепежного материала. Еще один фактор, аргументирующий необходимость ограничения ширины воздушного зазора – это то, что при величине её свыше 80 мм возникает мощная тяга, при которой во-первых выветривается утеплитель, во-вторых может возникнуть шумовой дискомфорт и, наконец, резко возрастает пожароопасность объекта, огонь молниеносно распространяется по всем фасадам [1].

Эффективное функционирование фасадной системы зависит не только от совершенства конструкции, но в большей степени от теплоизоляционных материалов, используемых в этой системе. К утеплителю должны предъявляться повышенные требования стойкости к знакопеременному температурному режиму, пожаробезопасности, высокая биостойкость и паропроницаемость, стойкости к выветриванию, влагостойкости. При плотности утеплителя менее 100 кг/м³ происходит чрезмерная усушка, уменьшение линейных размеров и сползание плит, что неизбежно вызывает образование «мостиков холода» [2]. При повышенном водопоглощении теплоизоляционный слой деформируется, и вероятно его единичное или повсеместное слипание с листами облицовки. Обеспечить беспрепятственный эффективный воздушный поток по всей поверхности стены в этом случае не удастся, что нивелирует все положительные свойства навесного фасада. Кроме того, на наружной поверхности стены зачастую появляются влажные высолы и пятна, снижая декоративные качества стены. Сопротивление теплопередаче перестает соответствовать показателям, заявленным производителем.

Среди распространенных сегодня решений утепления фасадов заслуживают внимания системы типа «мокрый фасад». Теплоизоляционные плиты здесь крепятся к наружной стене штукатурным клеевым раствором и фасадными дюбелями. По слою теплоизоляции наносятся два слоя: прочный защитный слой штукатурки, армированный стеклосеткой и декоративный слой строительного раствора по грунтовке. Оптимальным вариантом утеплителя является минеральная вата (особенно каменная на основе базальта), которая обеспечивает огнестойкость и высокую паропроницаемость, за счет чего пары влаги легко проходят через слои утеплителя и штукатурки, а конденсат эффективно удаляется. Однако, зачастую выше названные преимущества сводятся на нет по одной из следующих причин: или низкой паропроницаемости штукатурки, или низкой паропроницаемости утеплителей, таких, как пенопласт.

При соблюдении выше названных рекомендаций использование «мокрого фасада» позволяет добиться значимых преимуществ, таких как создание комфортного микроклимата (стены «дышат»), снижение теплопроводности ограждения, улучшение звукоизоляции, защиты межпанельных швов в новых и реконструируемых зданиях и др.

Параллельно с исследованиями, связанными с усовершенствованием выше рассмотренных фасадных систем, крайне актуально вести разработки новых, инновационных решений в области энергоэффективных ограждающих конструкций. Одним из них является использование «прозрачной теплоизоляции», которая способна пропускать солнечный свет. В конструкциях стен с использованием такой теплоизоляции абсорбируется и накапливается гелиоэнергия, которая используется для отопления здания и в тоже время позволяет минимизировать его тепловые потери. Роль «прозрачной теплоизоляции» может играть акриловая пена, сотовый поликарбонат, капиллярное стекло и др. Повышенные теплоизоляционные свойства присущи им благодаря пористой или трубчатой структуре. На 95 % они состоят из воздуха. Из-за мелкого размера пор в этих материалах практически нет конвекции воздуха, и они не пропускают тепловое излучение. Так слой (силикагеля на основе кремниевой кислоты) толщиной 20 мм в 3 раза лучше сохраняет тепло, чем кирпичная стена толщиной 510 мм [3].

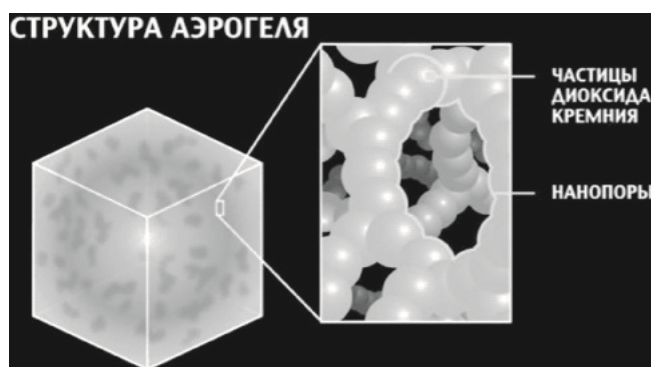


Рис. 1. Структура аэрогеля [4]

Материалы типа аэрогелей имеют размер микропор намного меньше длины волны видимого света, и вследствие малого рассеивания образцы толщиной 12 мм на 10 % прозрачнее, чем двухслойное остекление (рис. 1). Будучи заключенным в стеклопакет, такой утеплитель позволяет использовать солнечную энергию. Прозрачный верхний слой теплоизоляционного материала пропускает свет к внутреннему слою световодных трубок. Слой этот можно представить себе в виде множества связанных вместе прозрачных соломинок. С их помощью свет попадает на черный сорбирующий слой, где он и преобразуется в тепло, которое в свою очередь накапливается в стене. В зимний период года благодаря горизонтальному расположению световодов солнечные лучи беспрепятственно проникают к адсорбирующему слою, в то время, как летом они дают блики и отражаются от поверхностного слоя и капилляров, не доходя до стен дома, исключая тем самым перегрев помещения. Как следствие этого возможна значительная экономия электроэнергии на кондиционирование. На южных фасадах зданий удастся получить до 120 кВт/час с квадратного метра поверхности за отопительный период. Наиболее перспективными можно назвать два варианта конструкций с использованием прозрачной теплоизоляции. В первом случае теплоизоляция размещается перед массивной стеной, выполненной из кирпича или бетона и окрашенной в черный цвет. Стена получает тепловую гелиоэнергию и передает ее вовнутрь помещения. Ее количество по величине превышает потери, так что стены отапливают дом. Для защиты здания от перегрева в летний период года между наружным стеклом и утеплителем размещается затеняющее устройство, автоматически регулирующее оптимальный поток энергии, обеспечивая максимальный комфорт в помещении.

Целый ряд экспериментальных объектов в странах Западной Европы подтвердили эффективность использования прозрачной теплоизоляции. Расходы на отопление снижались с 225 кВт час/м² до 58 кВт час/м², т.е. потери энергии снижались на 70 %. [5]

Не менее эффективными являются варианты использования прозрачной теплоизоляции в конструкции навесных стеклянных фасадов, за которыми скрываются стены из кирпича или бетона с окнами обычного типа. Получая оригинальные экстерьеры с большими площадями остекления фасадов, мы при этом не снижаем теплозащитные качества ограждений. В результате реализации демонстрационного проекта реконструкции жилого дома, в процессе которого было произведено утепление стен прозрачной теплоизоляцией, удалось вдвое снизить эксплуатационные расходы: до 0,45 евро/м². Кроме того, резко уменьшились выбросы CO₂.

Особого внимания заслуживает еще один светопрозрачный теплоизоляционный материал. Это аэрогель, представляющий собой трехмерный кластер с размером элементов около 4 нм и размером пор около 10 нм. Таким образом, микроскопическая структура представляет собой сплошное однородное вещество, выгодно отличающее его от других пористых сред. Аэрогель сочетает в себе уникальные свойства: он прозрачен, достаточно прочен, благодаря оксиду кремния, и обладает рекордно малой теплопроводностью (0,015 Вт/мК). Слой такой теплоизоляции в 10 мм способен заменить минераловатную плиту толщиной 50 мм [6].

Еще одно инновационное направление – это применение вакуумной изоляции. Являясь самой эффективной изоляцией, к сожалению, в строительном производстве РФ она пока не находит широкого применения по экономическим и конструктивным соображениям. Микропористые кремниевые пластины диоксида упакованы здесь в газонепроницаемую вакуумную пленку. Эти сэндвич-панели обладают чрезвычайно низкой теплопроводностью, а именно в 5-10 раз меньшей, чем в случае использования традиционных систем. Вакуумные изоляционные панели и вакуумные изоляционные стеклопакеты получили широкое распространение в Германии при модернизации жилого фонда. Их теплопроводность около $0,004 \text{ W (mK)}$. Их коэффициент изоляции в 50 раз выше по сравнению с традиционным изоляционным материалом минеральной плитой той же толщины [6].

В традиционном двухслойном остеклении потери тепла можно существенно снизить путем создания вакуума в пространстве между остеклением в вакуумных стеклопакетах (рис. 2). При этом необходима установка уплотнителей между стеклами, чтобы избежать повреждения стеклопакета из-за воздействия атмосферного давления в 1,000 гПа, что соответствует нагрузке 10 тонн на 1 квадратный метр. Длительное давление газа требует создания герметичности, которую призваны обеспечить краевые прокладки по контуру панелей [7].

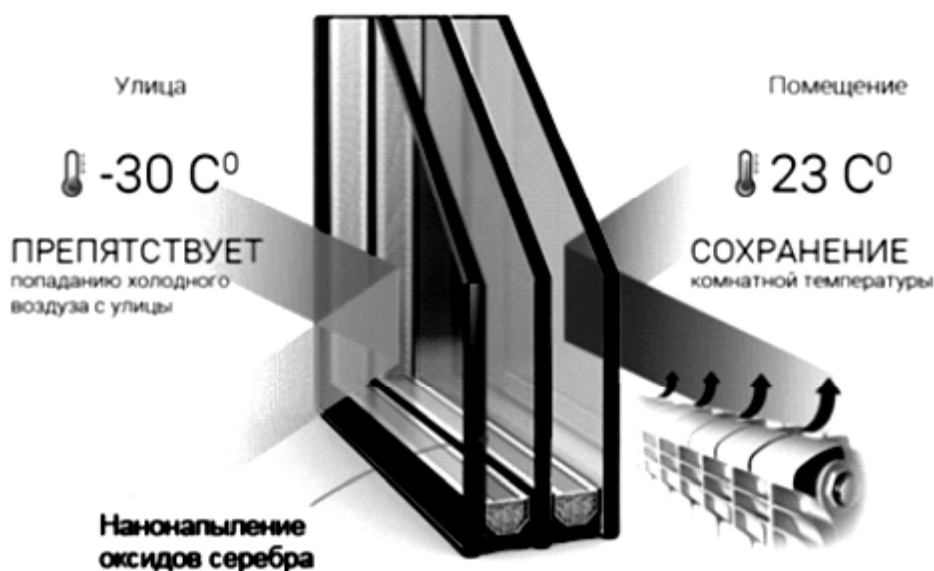


Рис. 2. Вакуумный теплоизоляционный стеклопакет [8]

По мере истощения запасов природных ресурсов углеводородного топлива, цена добычи и переработки которых постоянно растет, все большую роль в мировой энергетике начинают играть возобновляемые источники энергии, из которых солнечная – является одной из главных. Преобразовывать энергию солнечного излучения в электрический ток можно несколькими путями, но самый универсальный и масштабируемый способ – это прямое преобразование при помощи фотоэлектрического эффекта в полупроводниках типов «п» и «р» (рис. 3), который и лежит в основе модулей солнечной батареи [9]. Конструкции окон, которые кроме своих традиционных функций, способны были вырабатывать электроэнергию, были разработаны исследователями из калифорнийского университета. Им удалось создать гибкие солнечные батареи с прозрачностью 70 %, представляющие собой тонкую пленку, выполненную из полимерных материалов, в качестве основы, для которых используется пластик. Механизм наклеивания пленки на стекло максимально прост. Вышеизложенная идея может быть заложена в основу изготовления стеклопанелей заводского производства. КПД таких окон, питающихся солнечной энергией, способен резко возрасти и достигнуть 6 % и более [10].

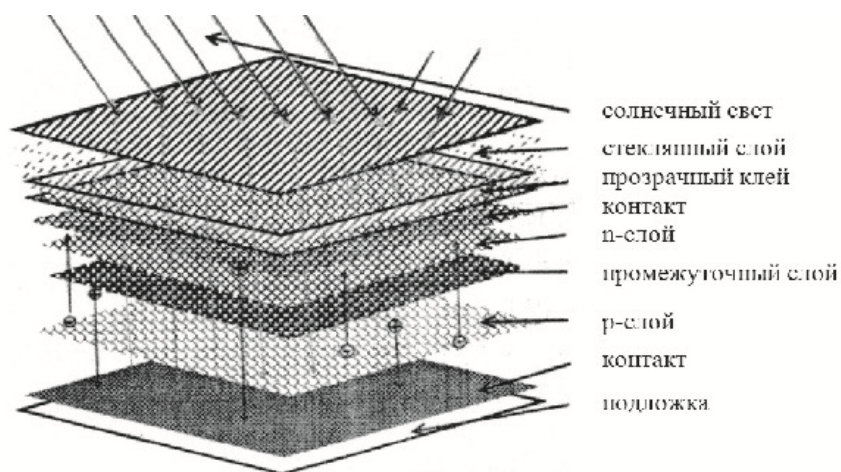


Рис. 3. Структура стекла с фотоэлементом [10]

Принципиально новый подход к использованию фотоэлементов, а именно в заполнениях оконных проемов, позволяет разработать окна, которые способны приспосабливаться к погодным условиям. Суть конструкции состоит в том, что между двумя слоями монолитного поликарбоната, сходного по своим свойствам с обычным стеклом, размещается пленка оксида ванадия. Эта пленка рассеивает солнечный свет и направляет его к краям окна, т.е. на участки, где расположены фотоэлементы. Кроме генерации электрической энергии такие окна отвечают за отражение инфракрасного излучения при повышении температуры.

Технологии солнечных батарей весьма разнообразны и имеют применение во многих областях производства, однако темпы внедрения этих технологий в строительную индустрию РФ неоправданно низкие. Вместе с тем, испытания сэндвич-панелей, наружный слой которых состоит из прозрачного стеклопластика, а за ним располагаются фотоэлементы на базе аморфного кремния, подтвердили практическую эффективность подобных систем, способных перевести здания на электрическое самообеспечение. Не менее эффективен второй вариант сэндвич-панели, внутренняя часть которой заполнена жестким вспененным полимером, выполняющим одновременно две роли: и несущего материала, и теплоизоляции, и двух слоев стеклопластика. Усовершенствовать эту конструкцию возможно за счет дополнительного верхнего слоя. В этом случае почти полностью прозрачный стеклопластик толщиной 2-3 мм будет защищен листом гибкого фотоэлемента от внешних воздействий [11].

Попытки расположить фотоэлементы на крышах и стенах зданий сдерживаются из-за целого ряда практических проблем: солнечные батареи на базе кристаллического кремния имеют значительный вес, требуют эксплуатационных расходов на очистку от снега и пыли, имеют повышенную чувствительность к малейшим повреждениям, которые способны снизить КПД и срок службы фотоэлементов. Попытки защитить их стеклом привели бы к еще большему утяжелению и удорожанию панели.

Для строительных целей альтернативным решением является использование тонкопленочных солнечных модулей из аморфного кристаллического кремния. Солнечные батареи из аморфного кремния тоньше, легче, дешевле и могут легко сгибаться без повреждений, что особенно важно в случае гибких стеновых конструкций. При нанесении тонких пленочных материалов с фотоэффектом на диэлектрическую подложку, в том числе стекло, механические свойства подложки, такие как жесткость, гибкость сохраняются, а толщина такого модуля практически не отличается от толщины подложки. Это позволяет использовать такие модули вместе или вместо традиционных строительных материалов на кровле или фасаде здания. Полупрозрачные модули различной окраски могут быть использованы для декоративного цветового оформления экстерьеров зданий, и это еще одно достоинство аморфного гидрогенизированного и микрокристаллического кремния в тонкопленочной технологии.

И, наконец, еще одним существенным достоинством этих модулей является возможность создания структур на очень больших площадях, будь то кровли или фасады.

Заслуживает должного внимания возможность использования оконных заполнений и витражей для получения электроэнергии от рассеянного искусственного освещения помещения. Витражи с фотоэлементами успешно могли бы быть установлены в церквях, соборах, мечетях, офисах, библиотеках или музеях. В отличие от обычного стекла, они бы обеспечили спокойный, рассеянный, несколько приглушенный комфортный световой режим. Металлические элементы каркаса так же генерировали бы электричество. Дизайн витражей основан на сенсibiliзирoванных красителем фотоэлементах. Они могут быть изготовлены из слоев полупроводниковых кристаллов, диоксида титана и красителя, который, поглощая свет, возбуждающий электроны, генерирует электрический ток. Ток подается в батарею, расположенную в подоконнике, и может быть использован потребителем для бытовых целей.

В заключении стоит отметить, что нанотехнологии открывают огромные возможности для совершенствования традиционных и внедрения в практику строительства новых конструктивных решений, направленных на увеличение энергоэффективности фасадных систем. Кроме рассмотренных выше вариантов ограждений, заслуживают внимания исследования в области использования материалов с изменяющейся прозрачностью, светoуправляющих оптических элементов, теплоотражающих стёкол, плёнок из термопластических фторполимеров и др. [12-13]. Будучи успешно использованными, в других отраслях народного хозяйства, эти направления являют собой большой потенциал для строительства.

Список библиографических ссылок

1. Жадановский Б. В., Кужин М. Ф. Организационно-технологические решения устройства навесных фасадных систем при реконструкции жилых и общественных зданий // Промышленное и гражданское строительство (ПГС). 2012. № 1. С. 62–64.
2. Забельская М. В. Фасадные системы: проблемы и их решения // Будмайстер, 2010. № 8. С. 26–29.
3. Построй свой дом // URL: <http://www.mensh.ru> (дата обращения: 15.03.2017).
4. Замороженный воздух (аэрогель) // URL: <http://www.wowworld.ru> (дата обращения: 15.03.2017).
5. Король Е. А. Эффективные ограждающие конструкции с высоким уровнем теплозащиты // Промышленное и гражданское строительство (ПГС). 2011. № 9. С. 24–25.
6. Ковалев А. В., Заморов А. А. Применение стеклопакетов с использованием аэрогеля // URL: <http://izron.ru> (дата обращения: 23.03.2017).
7. Теплоизоляция: новое поколение. Вакуумная изоляция окон и фасадов // URL: <http://fasadinfo.ua> (дата обращения: 17.02.2017).
8. Энергосберегающее стекло // URL: <http://mirokon.by> (дата обращения: 6.03.2017).
9. Гершунский Б. С. Основы электроники и микроэлектроники. Киевт : Вища школа, 2012. 423 с.
10. Фадеева Г. Д. Рентабельное использование нанотехнологий в строительных материалах // Молодой ученый. 2013. № 12. С. 187–188.
11. Elsafty A. F., Joumaa C., Abo Elazm M. M., Elharidi A. M. Case Study Analysis for Building Envelop and its Effect on Environment // Energy Procedia. 2013. № 36. P. 958–966.
12. Satu Paiho, Isabel Pinto Seppä, Christel Jimenez An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. № 15. P. 75–85.
13. Yuehong Lu, Shengwei Wang, Yang Zhao, Chengchu Yan Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 61–75.

Ivanova E.Y. – senior lecturer

E-mail: ivanova.e.u@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Innovative direction for designing energy efficient protections

Abstract

Problem statement. Requirements to improve the efficiency and energy saving closely related to the rational design solutions that are acceptable in the design of buildings of various construction systems. In this paper the energy-efficient design of the walls, windows and stained glass are considered. The paper analyzes the facade systems and common ways of their improving today.

Results. We offer innovative solutions, which are based on a fundamentally new approach to the use of photovoltaic cells in filling window openings and stained-glass windows, allowing them to adapt to the weather conditions. The ways of improvement of facade systems, considered the possibility of adapting nanotechnology used successfully in other industries, has proven its economic efficiency, to the specifics of the construction industry.

Conclusions. The proposed new design solutions help to increase the energy efficiency of enclosing structures.

Keywords: energy efficiency, nanotechnology, facade systems, innovative direction, constructing fences.

References

1. Zhadanovskij B. V., Kozhin M. F. Organizational and technological solutions for the installation of hinged facade systems for the reconstruction of residential and public buildings // Promyshlennoe grazhdanskoe stroitelstvo. 2012. № 1. P. 62–64.
2. Zabelskaya M. V. Facade systems: problems and solutions // Budmajster, 2010. № 8. P. 26–29.
3. Build your house // URL: <http://www.mensh.ru> (reference date: 15.03.2017).
4. Frozen air (aerogel) // URL: <http://www.wowworld.ru> (reference date: 15.03.2017).
5. Korol. E. A. Effective enclosing structures with a high level of thermal protection // Promyshlennoe grazhdanskoe stroitelstvo. 2011. № 9. P. 24–25.
6. Kovalev A. V., Zamorov A. A. Use of double-glazed windows using aerogel // URL: <http://izron.ru> (reference date: 23.03.2017).
7. Insulation: the new generation. Vacuum insulation of Windows and facades // URL: <http://fasadinfo.ua> (reference date: 17.02.2017).
8. Energy-saving glass // URL: <http://mirokon.by> (reference date: 06.03.2017).
9. Gershunskij B. S. Fundamentals of Electronics and Microelectronics. Kiev : Visha shkola, 2012. 423 p.
10. Fadeeva G. D. Cost-effective use of nanotechnology in building materials // Molodoj uchenyj, 2013. № 12. P. 187–188.
11. Elsafty A. F., Joumaa C., Abo Elazm M. M., Elharidi A. M. Case Study Analysis for Building Envelop and its Effect on Environment // Energy Procedia. 2013. № 36. P. 958–966.
12. Satu Paiho, Isabel Pinto Seppä, Christel Jimenez An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. № 15. P. 75–85.
13. Yuehong Lu, Shengwei Wang, Yang Zhao, Chengchu Yan Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 61–75.