



фото http://www.addinol.ru

Проектирование ограждающих конструкций зданий с низким энергопотреблением для Свердловской области

В пятёрку наиболее энергоэффективных стран, получивших самую высокую оценку EPI, включены Швейцария, Латвия, Норвегия, Люксембург и Коста-Рика [1]. Наблюдался такой парадокс: стоимость строительства в России ниже уровня мировых цен всего на 20–30 %, а стоимость энергоресурсов отличается в шесть-семь раз. Но, поскольку Россия взяла курс на построение эффективной экономики и вхождение в мировое сообщество, баланс цен на энергоносители начал восстанавливаться стремительными темпами. В связи с этим вопрос строительства энергоэффективных зданий в России становится одним из ключевых, а проблема рационального использования энергоресурсов приобретает всё большее значение. Особенно остро эта проблема встаёт в коммунальном хозяйстве, которое потребляет до 20 % электрической и 45 % тепловой энергии, производимой в стране. На единицу жилой площади в России расходуется в два-три раза больше энергии, чем в странах Европы, и не столько из-за более сурового климата, сколько благодаря существенно меньшей жёсткости строительных стандартов и нормативов. Хотя надо отметить, что энергоёмкость зданий в России «...за период 2007–2013 годов снизилась на 12 %. Это произошло в результате проведения

целенаправленной государственной политики энергосбережения...» [2].

Неизбежное истощение невозобновляемых энергетических ресурсов привело к повышению усилий по экологическому информированию людей для реализации различных законодательных актов на всех уровнях сотрудничества. Повышение энергоэффективности зданий является экономически эффективным способом смягчения последствий изменения климата и создания комфортных условий для проживания. Учитывая большой потенциал экономии в строительной отрасли за счёт энергоэффективности, особенно в резко континентальном климате, который характерен для Уральского региона, в том числе и Свердловской области. В последние десятилетия появилось множество решений, направленных на повышение энергетической эффективности зданий. Сложным остаётся выбор наиболее оптимальных вариантов для соответствующих климатических условий и эффективное их сочетание их с целью достижения синергетического эффекта.

При проектировании энергоэффективных, а точнее — ресурсосберегающих, домов приоритетными направлениями выбраны: минимизация тепловых потерь, энергонезависимость с децентрализованным энергоснабжением.

УДК 728.1

Проектирование ограждающих конструкций зданий с низким потреблением энергии для Свердловской области

И. Н. Мальцева, к.т.н., доцент; Н. Н. Каганович, доцент; К. В. Мальцева, ассистент, кафедра «Архитектура», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ)

Строительство энергоэффективных зданий является приоритетным направлением для многих стран. Однако в регионах с суровым климатом часто возникают проблемы достижения нормативных показателей комфорта внутренней среды. В идеале проектные значения потребностей в электроэнергии на отопление и кондиционирование здания должны точно соответствовать итоговым показателям. В статье раскрыты концепции проектирования тепловой оболочки зданий с низким потреблением энергии на обогрев в зимнее время и на кондиционирование в летний период. Даны рекомендации по снижению энергопотребления зданий путём эффективного сочетания конструктивных решений.

Ключевые слова: устойчивое строительство, энергоэффективность, экологичность, ограждающие конструкции, комфортность.

UDC 728.1

Designing envelope buildings with low energy consumption for the Sverdlovsk region

I. N. Mal'tseva, PhD, Associate Professor; N. N. Kaganovich, PhD, Associate Professor; K. V. Mal'tseva, assistant, Department of architecture, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin" (Ekaterinburg city)

Construction of energy-efficient buildings becomes a top priority for many countries. Yet certain obstacles in achieving internal environment comfort standards remain in regions with extreme continental climate. In addition to engineering and economic challenges, there exist design process issues since design data should closely correspond with resulting performance of the building. The article deals with the concept of design of thermal envelope of buildings with low energy consumption for heating in winter and air conditioning in summer. Most influential factors are taken into consideration and general recommendations on improving energy efficiency using effective combination of structural solutions are given.

Keywords: sustainable construction, energy efficiency, environmental friendliness, building envelope, comfortable house.

При разработке принципов проектирования домов с низким потреблением энергии в Екатеринбурге и Свердловской области были объединены две существующие разработки: «пассивный дом» — «экодом» (европейский вариант), пассивные системы солнечного отопления (США). Энергетически «пассивный» дом — это здание, в котором расходы на отопление ничтожно малы, что практически делает его энергонезависимым. Теплозатраты «пассивного дома» составляют 15–25 кВт/м² в год (для сравнения, в кирпичном доме сталинской застройки 250–350 кВт/м² в год), а потребность в незначительном отоплении дома возникает только при отрицательных температурах наружного воздуха. За 20 лет, прошедших после строительства первого «пассивного дома», проведены глубокие исследо-

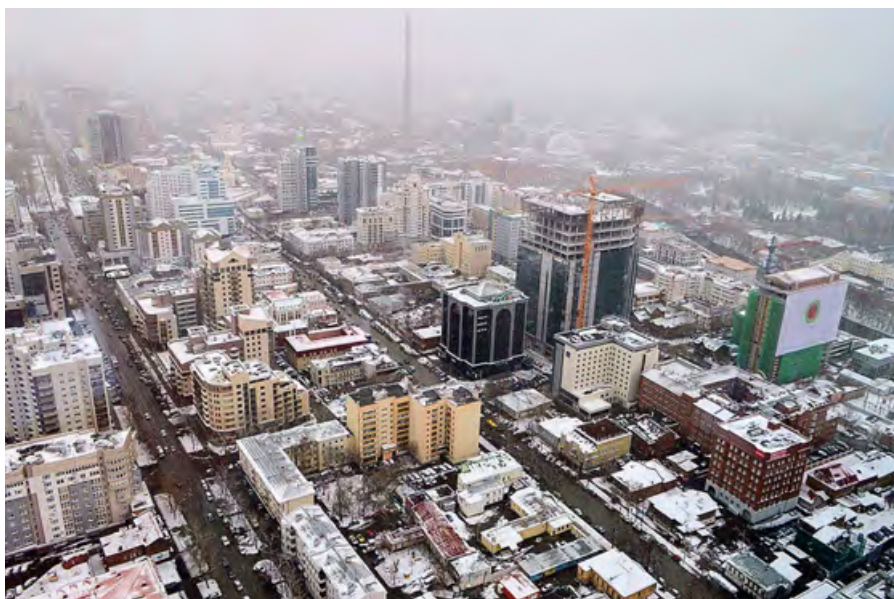


Фото «Наша газета», <http://ngt.ru>

Уральский регион — это территория с резко континентальным климатом, которую можно охарактеризовать как изолированную от мирового океана и имеющую короткое лето с высокими температурами с последующим длительным зимним сезоном. Средняя влажность, как правило, низкая, с редкими осадками

вания влияния на термостатирование зданий многочисленных факторов, как в процессе строительства, так и процессе эксплуатации, отработаны программы расчёта и технологии строительства. На базе этих сформированных знаний стало возможным широкое распространение домов с низким потреблением энергии не

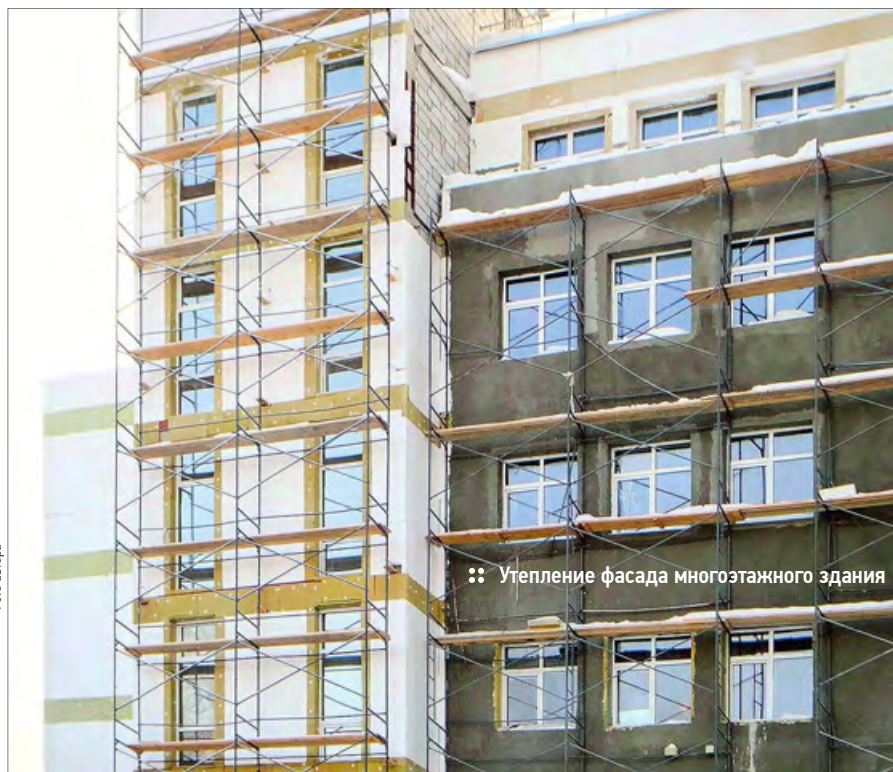
только в Германии, но и во всех странах Европы и в России [3]. В этих домах применяются современные строительные материалы и конструкции и новейшее инженерное оборудование. На сегодняшний момент это самые совершенные дома с точки зрения комфорта внутреннего климата помещений.

Развитие техногенной цивилизации привело к изменению образа жизни современного человека. В наши дни многие люди проводят большую часть своей жизни находясь в помещениях. Этот факт заставляет уделять особое внимание требованиям к параметрам внутренней среды помещений при проектировании и строительстве зданий. Усложняет задачу ещё и то, что возросшие темпы индустриализации всерьёз угрожают экологическим кризисом для всего человечества. В свою очередь, жилые и админи-

стративные здания ответственны за большую часть энергопотребления и выбросов CO₂, что заставляет задумываться об их совершенствовании.

Таким образом, к современным зданиям предъявляются комплексные и постоянно возрастающие требования по энергоэффективности и комфортности внутренней среды. В данной статье акцент сделан на влиянии ограждающих конструкций на вышеперечисленные параметры и на эффективном моделировании работы этих конструкций.

Уральский регион — это территория с резко континентальным климатом, которую можно охарактеризовать как изолированную от мирового океана и имеющую короткое лето с высокими температурами с последующим длительным зимним сезоном. Средняя влажность, как правило, низкая, с редкими осадками [4]. Самой большой проблемой для строительного проектирования является высокая амплитуда годовых температур, достигающих диапазона в 65°C и выше. В Екатеринбурге, например, средняя годовая температура составляет +2,4°C. Абсолютная минимальная температура составляет -47°C. Абсолютная максимальная температура равно +38°C. Расчётная температура самого холодного пятидневного периода составляет -32°C. Средняя температура отопительного периода составляет -5,4°C, продолжительность отопительного сезона составляет 221 день. Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) в Екатеринбурге составляют 5614. Таким образом, следует принять меры против потери тепла зимой и потенциального перегрева в летнее время, а для этого необходимо грамотное конструирование тепловой оболочки здания.



:: Утепление фасада многоэтажного здания

Фото автора

Основной целью эффективной конструкции является обеспечение мультикомфорта и экономии первичной энергии на обогрев в зимний период и на кондиционирование летом. Критерии мультикомфортного дома включают в себя: герметичность здания, достаточную теплоизоляционную оболочку, эффективную вентиляционную систему с рекуперацией тепла, высокое качество воздуха, энергоэффективные окна и двери, уменьшение влияния мостиков холода и альтернативные источники энергии.

К экономическим показателям можно отнести: расход тепловой энергии 15–25 кВт·ч/(м²·год); герметичность здания $\Pi_{50} \leq 0,6/ч$; расход первичной энергии ≤ 120 кВт·ч/(м²·год); перегрев в летнее время $\leq 10\%$.

Здание с низким потреблением энергии отличается от зданий традиционной российской застройки, как сказано выше, высокой герметичностью и мощной теплоизоляцией здания. Основной принцип хорошей теплоизоляции заключается в необходимости проектирования замкнутой непрерывной термической (теплоизоляционной) оболочки, охватывающей комфортную зону. Все помещения, температура которых в зимнее время должна быть $+21^\circ\text{C}$, находятся внутри этой оболочки, которая прерывается только в местах установки окон и имеет по всему контуру высокие теплоизоляционные характеристики. Минимальная толщина утеплителя с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,04$ Вт/(м·°C) в Уральском регионе должна составлять в любом месте теплоизоляционной оболочки около 20 см [5]. Практически желательно даже улучшить теплоизоляцию непрозрачных наружных строительных элементов до $R_0 = 10$ м²·°C/Вт, что соответствует эквивалентной толщине эффективного утеплителя около 40 см. Конечно, это большая толщина утеплителя, но только следуя этому пути можно в настоящее время достигнуть малых теплопотерь по приемлемой цене. В будущем всё больше будут использоваться также вакуумные панели, с применением которых возможен высокий теплоизоляционный эффект при относительно малых толщинах стен. Сложных конструкций необходимо избегать: они оказываются малопрактичными и становятся прежде всего дорогими. Теплоизоляцию можно сконструировать так, чтобы устройство теплоизоляционной оболочки оказалось очень простым и практичным.

Таким образом, увеличение толщины изоляции и создание равномерной теплоизоляционной оболочки без так назы-

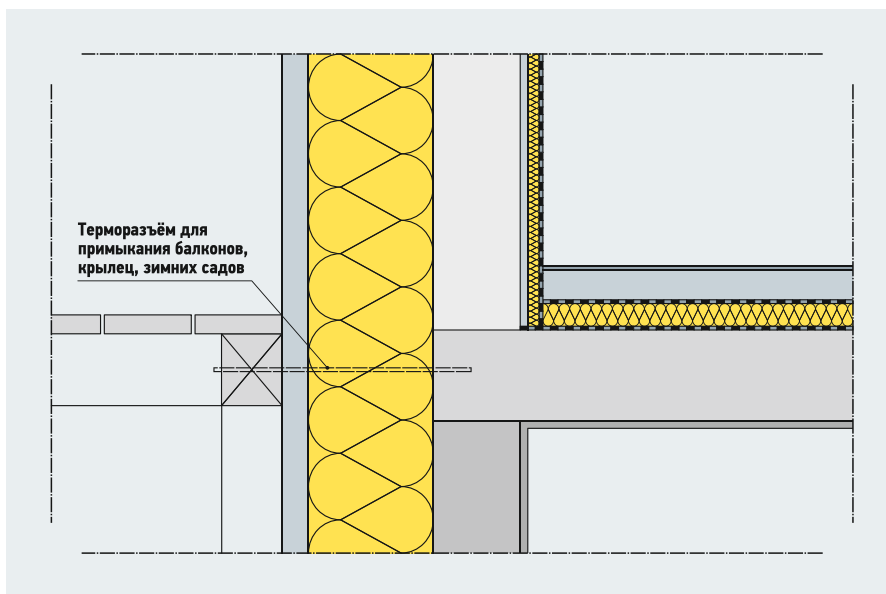


Рис. 1. Термически разделённый балкон с опиранием на терморазъём (вентилируемый фасад с теплоизоляцией «Изовер»)

ваемых «тепловых мостов» (в России их чаще называют «мостики холода») являются одним из эффективных стратегических принципов [6]. В тех случаях, где нет возможности не разрывать оболочку, используются дополнительные терморазъёмы из теплоизоляции, добавляется теплоизоляция в слабых местах (рис. 1).

Наружные оболочки зданий должны быть воздухонепроницаемыми. Этот принцип прост и не подлежит сомнению. Несмотря на это, никакое другое свойство оболочки здания не вызывает столько ожесточённых споров, как воздухонепроницаемость. Ядром проблемы является неправильное представление распространённое убеждение, что через неплотности наружной оболочки здания (швы, стыки, зазоры) можно гарантировать в квартирах достаточную приточную и вытяжную вентиляцию. Это заблуждение. Воздухообмен через негерметичные швы в наружных стенах изменяется в зависимости от напора ветра и температурных колебаний в крайне широкой области. В самых негерметичных зданиях, в которых при несильном ветре уже значительно начинает сквозить, в безветренные и мягкие погодные периоды воздухообмен недостаточен. На вентиляцию

воздуха через неплотности швов как раз нельзя положиться. Однако воздушный поток через швы имеет веский недостаток: если через шов снаружи вовнутрь легко проходит воздух, то из-за напора ветра возможно попадание в конструкцию атмосферных осадков. Если воздушный поток проходит изнутри наружу, то эти последствия уже катастрофичны. Тёплый влажный воздух помещения охлаждается, проходя через шов, а выходя наружу, он может уже не содержать прежнего процента влажности, так как в холодном воздухе содержится небольшой процент водяного пара. Лишняя влага конденсируется в шве, то есть конструкция насквозь пропитывается водой. Через такую конвективную транспортировку пара в строительную конструкцию попадает гораздо больше влаги, чем в результате диффузии пара, которая в настоящее время часто обсуждается, но, тем не менее, в большинстве случаев является естественной и безвредной при правильном проектировании. Очень большой процент всех строительных повреждений связан с негерметичной оболочкой здания. Следующие недостатки такой вентиляции — это плохая звукоизоляция и излишне высокие теплопотери.

Так как неплотности швов приносят больше вреда, чем пользы, то уже в традиционных зданиях оболочки должны быть воздухонепроницаемыми. А в зданиях с низким потреблением энергии тем более должна быть отличная герметичность оболочки. Необходимый воздухообмен, санитарный комфорт — здоровая среда обитания человека здесь обеспечиваются вентиляцией с фильтрами, через кото-

Увеличение толщины изоляции и создание равномерной теплоизоляционной оболочки здания без так называемых «тепловых мостов» (в России их чаще называют «мостики холода») являются одним из эффективных стратегических принципов

рую в помещение попадает воздух чище уличного, жильцы меньше подвержены вирусным заболеваниям. Вентиляция через швы в этом случае стала бы нарушать работу системы вентиляции, значительно возросли бы и теплопотери, так как для проходящего через швы потока воздуха применение рекуперации бессмысленно.

Как показывает опыт, воздухонепроницаемость легко достичь, если: все элементы проектировать в простом исполнении; исполнить большие замкнутые поверхности с применением надёжных и испытанных ранее основных конструкций; строго выполнять принципы по устройству стыков; минимизировать сквозные проколы оболочки.

Например, достаточно герметичной уже является классическая кирпичная наружная стена, если она покрыта сплошной внутренней штукатуркой, выполненной без разрывов. Внутренняя штукатурка в таком случае должна быть сплошной — от чистого пола до низа перекрытия. Но воздухонепроницаемая оболочка охватывает весь отапливаемый объём, а не только стены, и представляет собой полностью закрытую поверхность. Иными словами, воздухонепроницаемые поверхности различных строительных конструкций должны быть плотно соединены друг с другом. Должна возникнуть единая воздухонепроницаемая поверхность-оболочка по всему контуру здания.

Деревянные конструкции (такие как стропильная система скатных крыш) будут герметичными в плоскости, если сплошная полиэтиленовая мембрана закрывает всю поверхность теплоизоляции [7]. Полотна мембраны необходимо склеивать тщательно и надёжно, используя двустороннюю самоклеящуюся уплотнительную ленту на бутилкаучуковой основе. Довольно большие проблемы причиняют проколы (разрывы) герметичной оболочки, поэтому имеет смысл по возможности сокращать такие проколы или ограничивать их в небольших, хорошо продуманных и добросовестно выполненных для этого местах.

Для решения этой проблемы промышленность предлагает в настоящее время в большом количестве простые и недорогие вспомогательные средства: воздухонепроницаемые монтажные коробки для электрики и специальные воздухонепроницаемые манжеты, например, для проходящих через наружную стену труб. Испытанным способом является уплотнение с помощью гипса или пластичного раствора, например, в санитарно-технический блок в ванной комнате с большим количеством монтажных от-



Фото: <http://v2017.god.ru>

верстий. В этом случае перед монтажом оборудования и выполнением облицовки стена предварительно оштукатуривается. Оконные стекла и бетонные перекрытия являются также герметичными.

Окна также являются составной частью тепловой оболочки здания. В Уральском регионе для зданий с низким потреблением энергии необходимо использовать окна с сопротивлением теплопередаче $R \geq 1,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Поэтому окна для зданий с низким потреблением энергии следует использовать с тройным остеклением и низкоэмиссионным покрытием. Большую часть окон рекомендуется ориентировать на южную сторону для пассивного использования солнечной энергии на обогрев здания. Но, учитывая, что Екатеринбург находится в зоне, где солнечная радиация в зимний период небольшая, а температура окружающей среды низкая (средняя температура января составляет -15°C), теплопотери через окна значительно больше, чем полученное количество солнечной энергии, следовательно, площади окон не должны быть очень большими.

В теплоступлениях от пассивного использования солнечной радиации мы нуждаемся прежде всего зимой. Если сравнить по количеству теплоступлений через различно ориентированные окна, то южное направление зимой будет наилучшим. К тому же зимой солнце стоит так низко, что прохождение солнечных лучей через окно происходит почти перпендикулярно и проникновение энергии очень благоприятно. А что же летом? Не будет ли происходить большая потеря энергии на кондиционирование? Оказывается, что ориентация окон на юг

оптимальна и летом — это значительно лучше, чем на восток или запад. Над фасадом, ориентированным на южную сторону, солнце в середине лета в широтах уральского региона восходит поздно и стоит высоко — так, что едва касается южного фасада с совсем небольшой энергонагрузкой, и быстро заходит. Поэтому солнечная нагрузка через южные окна летом мала и не оказывает заметного влияния на изменение внутреннего микроклимата помещений.

Мы рассмотрели все составляющие тепловой оболочки зданий с низким потреблением энергии. Можно сказать, что выполнить качественную тепловую оболочку в зданиях не так сложно, и в результате мы получим значительное сокращение потребления первичной энергии на отопление в зимнее время и кондиционирование в летний период. Добросовестное проектирование и возведение здания является здесь решающим условием. ●

1. Названы самые экологичные страны мира 2012 года // Зелёный город, 2013. №2(4). С. 8.
 2. Курс на энергоэффективность и возобновляемые источники энергии // Региональная энергетика и энергосбережение, 2015. №3. С. 39–41.
 3. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов / Пер. с нем. с доп. А.Е. Елохова. — М.: Изд-во «АСВ», 2011. 144 с.
 4. Раковская Е., Давыдова М. Физическая география России: Ч. 1–2. — М.: Изд-во «Владос», 2001.
 5. Perminov R., Maltseva I., Kaganovich N., Alexander Y. Energy-efficient multi-comfort group of buildings in Svetlorechenskiy estate. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vols. 725–726. P. 1389–1394.
 6. Йиржи Герер. Тепловые мосты пассивных и низкоэнергетических зданий: Сб. мат. конф. «Технологии проектирования и строительства энергоэффективных «пассивных зданий»». — М.: «ИПД», 2014. С. 97–99.
 7. Парамонов К.О. Мультифункциональный дом Saint-Gobain во Франции: Сб. мат. конф. «Технологии проектирования и строительства энергоэффективных «пассивных зданий»». — М.: «ИПД», 2013. С. 79–82.
- References — see p. 95.

Designing envelope buildings with low energy consumption for the Sverdlovsk region. Pages 84–87.

I. N. Maltceva, PhD, Associate Professor; **N. N. Kaganovich**, PhD, Associate Professor; **K. V. Maltceva**, assistant, Department of Architecture, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin" (Ekaterinburg city)

1. Nazvany samye jekologichnye strany mira 2012 goda [The most environmentally friendly countries of the world in 2012 are called] // Zeljonyj gorod [Green City]. 2013. Vol. 4. No. 2. P. 8.
2. Kurs na jenergojeffektivnost' i vozobnovljaemye istochniki jenergii [The policy of energy efficiency and renewable energy sources] // Regional'naja jenergetika i jenergosberezhenie [Regional energy and energy efficiency]. 2015. No. 3. Pp. 39–41.
3. Vol'fgang Fajst. Osnovnye polozhenija po proektirovaniju passivnyh domov [The main provisions on the design of passive houses] / Per. s nem. s dop. A.E. Jolohova [Trans. from Ger. with add. by A.E. Jolohov]. Moscow. Izdatel'stvo ASV [DIA Publishers]. 2011. 144 p.
4. Rakovskaja E., Davydova M., Fizicheskaja geografija Rossii. Ch. 1–2 [Physical geography of Russia. Part 1–2]. Moscow. Izdatel'stvo Vldos ["Vldos" Publishers]. 2001.
5. Perminov R., Maltseva I., Kaganovich N., Alexander Y. Energy-efficient multi-comfort group of buildings in Svetlorechenskiy estate. Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726. 2015. Pp. 1389–1394.
6. Geger Jirzhi. Teplovyje mosty passivnyh i nizkojenergeticheskikh zdaniy [Thermal bridges (cold joints) of passive and low-energy buildings]. Sb. mat. konf. "Tehnologii proektirovanija i stroitel'stva jenergojeffektivnyh zdaniy Passive house" [Proc. of the "Technology design and construction of energy-efficient passive houses" conf.]. Moscow. "IPD". 2014. Pp. 97–99.
7. Paramonov K.O. Mul'tifunkcional'nyj Dom Saint-Gobain vo Francii [The multifunctional house of Saint-Gobain in France]. Sb. mat. konf. "Tehnologii proektirovanija i stroitel'stva jenergojeffektivnyh zdaniy Passive house" [Proc. of the "Technology design and construction of energy-efficient passive houses" conf.]. Moscow. "IPD". 2013. Pp. 79–82.