

doi: 10.5862/MCE.52.2

## Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

*К.т.н., младший научный сотрудник Т.А. Голова,  
д.т.н., профессор А.П. Денисова,*

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*

**Аннотация.** В статье представлены исследования энергоэффективности различных конструктивных решений стен и новой конструкции многослойной стены для малоэтажного строительства. Приведены результаты тепловизионных исследований многослойных и однослойных ограждающих конструкций, определены параметры микроклимата в помещении для различных конструктивных решений стен.

На основе проведенного исследования выявлены оптимальные конструктивные решения стен и проведена теоретическая оценка их энергоэффективности по СНиП 23–02–2003. Рассчитаны теплотери здания через наружные ограждающие конструкции, приведенное сопротивление теплопередаче стен, общие теплотери здания с выбранной конструкцией наружной стены за отопительный период.

Разработаны рекомендации по применению новой конструкции многослойной стены с использованием местных материалов при строительстве энергоэффективных малоэтажных зданий. Рекомендации содержат требования к материалам стен, теплотехническому расчету, указания по производству работ, физико-механические характеристики слоев стены.

**Ключевые слова:** энергосбережение; конструктивные решения стен малоэтажных зданий; температурно-влажностный режим ограждающих конструкций

Проектирование зданий в современных условиях необходимо проводить, учитывая класс энергоэффективности здания. Одним из способов повышения энергоэффективности здания является применение эффективных конструкций стен, которые отвечают требованиям к теплозащите зданий и микроклимату в помещениях.

В последние годы активно развивается сектор малоэтажного строительства, в основном в сельской местности. Важным фактором при проектировании жилых домов в таких районах является выбор материалов, не только отвечающих экономическим и экологическим требованиям, но и способствующих созданию комфортных условий проживания. Поэтому при внедрении новых конструктивных решений стен остается актуальным вопрос исследования температурно-влажностного режима здания, уровня теплозащиты его ограждающих конструкций и обеспечения нормативных параметров микроклимата в помещениях, а также энергоэффективности здания в целом.

Проведенные исследования в области разработки энергоэффективных зданий [1, 2, 3, 4] направлены, прежде всего, на определение температурно-влажностного режима здания и параметров микроклимата в помещении. Данные характеристики зависят от природно-климатических условий района строительства и имеют существенное значение для принятия конструктивных решений. Одним из аспектов государственной программы энергосбережения является задача комплексного использования энергетических ресурсов региона, включающая эффективное использование материалов, производимых на основе возобновляемых местных ресурсов. Этот вопрос сейчас актуален для развития строительного сектора в средней полосе Поволжья.

В данной работе рассматривается исследование новой конструкции «Сельская стена» жилых малоэтажных зданий на основе использования местных ежегодно возобновляемых материалов средней климатической зоны РФ. Также решается задача экспериментального обоснования предлагаемой конструкции стены с учетом современных требований энергоэффективного проектирования.

Особое внимание уделяется сравнительному анализу температурно-влажностного режима различных конструкций многослойных стен малоэтажных зданий в условиях средней климатической зоны РФ и новой многослойной конструкции «Сельская стена» с органическим утеплителем при одинаковых климатических условиях.

Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

Результаты исследований теплоэффективности, температурно-влажностного режима при эксплуатации зданий, а также разработки объемно-планировочных и конструктивных решений энергоэффективных зданий приведены в работах следующих отечественных авторов: Ю.А. Табунщиков, В.Г. Гагарин, М.М. Бродач, А.С. Горшков, Н.И. Ватин, Н.В. Шилкин, Т.А. Белаш, А.В. Кузнецов, А.М. Береговой, Г.Н. Годунова, Д.В. Немова, [1–7, 9, 10]. Исследования энергоэффективных строительных конструкций и параметров микроклимата для различных конструктивных решений стен отражены в работах следующих зарубежных авторов: F. Aldawi, F. Alam, A. Date, M. Alghamdi, F. Aldhawi, M. Praznik, V. Butala, W. Thomas, J. Duffy, R. Albatici, F. Passerini, A.M. Tonelli, S. Gialanella, A. Lewandowska, A. Noskowiak, G. Pajchrowski, D. González-Aguilera, S. Lagüela, P. Rodríguez-Gonzálvez, D. Hernández-López, C.M. Stoppel, Leite F., B. Risholt, B. Time, G. Anne Hestnes [11–18].

Обзор литературных данных показал, что основными критериями энергоэффективного проектирования зданий является создание комфортных параметров микроклимата в помещении с обеспечением требуемой тепловой защиты зданий и соответствующего температурно-влажностного режима стен. Однако в данной литературе отсутствуют сведения о подобных исследованиях для многослойных конструкций стен с органическим утеплителем из прессованных соломенных блоков.

В ранее опубликованных работах авторов [19, 20] были проведены исследования по определению несущей способности, пожаробезопасности, долговечности новой конструкции многослойной стены «Сельская стена», однако экспериментальных данных по исследованию энергоэффективности таких конструкций нет.

Учитывая отсутствие подобных исследований, а также увеличение объема использования органического материала в практике строительства сельских домов на территории РФ и стран СНГ, необходимо определить возможность использования данной конструкции при проектировании энергоэффективных малоэтажных зданий.

### *Постановка задачи*

В настоящее время в России действует ряд нормативно-технических документов (основной документ – постановление Минстроя РФ №18-81 от 11.08.95 г. «О принятии изменений №3 СНиП П-03-79 «Строительная теплотехника» [21]), направленных на решение задач энергосбережения и снижения эксплуатационных затрат в строительстве. В соответствии с требованиями, установленными в этих документах, традиционные строительные однослойные конструкции (железобетон, кирпич, дерево) не способны обеспечить требуемое значение термического сопротивления [22]. Оно может быть достигнуто лишь с применением конструкций стен с многослойной структурой [23]. Многослойные стены современных малоэтажных зданий выполняются со средним слоем из эффективных волокнистых и плитных утеплителей (жесткой базальтовой ваты и пенополистирола), которые не соответствуют требованиям долговечности (не более 15–25 лет [22]). Кроме того, для изготовления таких утеплителей необходимо наличие промышленных баз со специальными технологическими процессами, формирование которых для сельской местности является нецелесообразным. Поэтому одним из приоритетных направлений является применение местных материалов, которое способствует не только уменьшению транспортных расходов и возможности строительства с использованием низкой квалификации рабочих, но и снижению стоимости здания в целом.

При выборе конструктивного решения стен малоэтажных зданий важным является определение таких показателей энергоэффективности, как температурно-влажностный режим ограждающих конструкций и параметры микроклимата в помещении. Температурно-влажностный режим влияет на параметры микроклимата в помещении. Чем меньше теплопотери, тем энергоэффективнее здание.

Целями данной работы являются:

- определение температурно-влажностного режима жилых малоэтажных зданий в климатических условиях средней полосы Поволжья с применением различных утеплителей (неорганических заводского изготовления и местных органических ежегодно возобновляемых соломенных блоков) в многослойных стенах;
- выбор рациональной конструкции многослойной стены для таких зданий с учетом требований энергоэффективности, экологичности и экономичности.

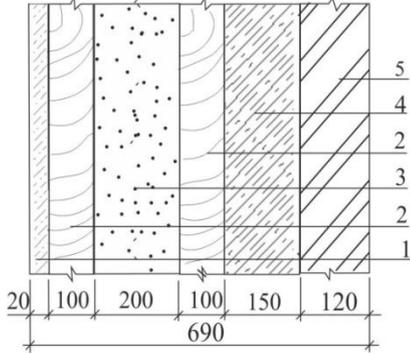
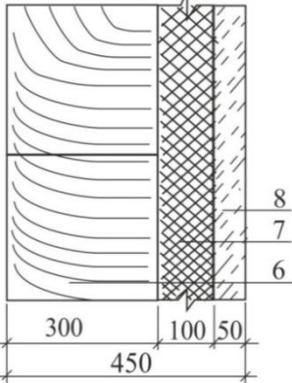
## Исследование температурно-влажностного режима жилых малоэтажных зданий при различных конструктивных решениях многослойных стен

Анализ существующих конструктивных решений стен средней полосы Поволжья показал, что перспективными для строительства энергоэффективных малоэтажных жилых домов являются многослойные конструкции стен [20]. Для определения рациональной конструкции многослойной стены с точки зрения энергоэффективности были проведены натурные обследования различных типов стен и новой конструкции «Сельская стена».

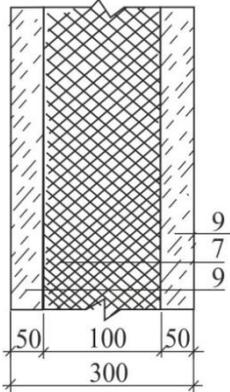
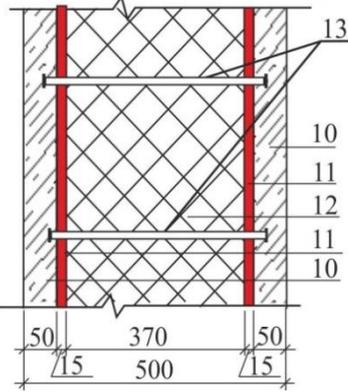
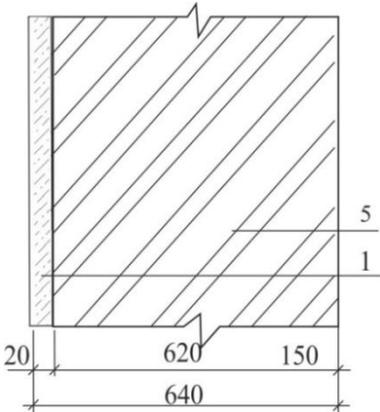
Объектами натурного обследования являются многослойные конструкции стен одноэтажных жилых домов, расположенных в г. Балаково Саратовской области, и новая конструкция многослойной стены «Сельская стена» [24], установленная в лаборатории «Эксплуатационная надежность строительных материалов и конструкций. Секция Бетоны и растворы» Балаковского института техники, технологии и управления (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Стены жилого дома №1 представляют собой многослойную конструкцию каркасного типа из дощатых щитов с засыпкой из опилок. В 2008 г. стены были утеплены засыпкой из керамзита и облицованы кирпичом (табл. 1). Стены основной части жилого дома №2 представляют собой цельный сруб, облицованный в 2009 г. плитным утеплителем и обшитый брусом (табл. 1), стены пристройки – каркасные деревянные с утеплителем из стекловаты (табл. 1).

**Таблица 1. Характеристики конструктивных решений стен**

Объект исследования и место расположения	Конструктивное решение стены	Характеристики слоев
1	2	3
<p>Одноэтажный жилой дом №1, ул. Красная звезда, г. Балаково</p>	<p style="text-align: center;">Многослойная конструкция стены</p> 	<p>1 – штукатурный слой  <math>\rho = 1800 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,93 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p> <p>2 – сосна обыкновенная  <math>\rho = 450 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,15 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p> <p>3 – опилки древесные сухие  <math>\rho = 60 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,065 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p> <p>4 – засыпка гравия керамзитового  <math>\rho = 800 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,23 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p> <p>5 – кирпич силикатный  <math>\rho = 1500 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,64 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p>
<p>Одноэтажный жилой дом №2, ул. Красная звезда, г. Балаково</p>	<p style="text-align: center;">Техслойная конструкция стены</p> 	<p>6 – брус из дуба  <math>\rho = 700 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,18 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p> <p>7 – утеплитель стекловата  <math>\rho = 20 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p> <p>8 – древесина – доски  <math>\rho = 450 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,15 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p>

Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

Объект исследования и место расположения	Конструктивное решение стены	Характеристики слоев
1	2	3
<p>Одноэтажный жилой дом №2, пристройка, ул. Красная звезда, г. Балаково</p>	<p>Трехслойная конструкция стены</p> 	<p>7 – утеплитель стекловата  <math>\rho = 20 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math>            9 – ДСП  <math>\rho = 650 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,14 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p>
<p>Лаборатория «Эксплуатационная надежность строительных материалов и конструкций. Секция Бетоны и растворы» БИТТиУ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., ул. Чапаева, г. Балаково</p>	<p>Экспериментальная конструкция стены «Сельская стена»</p> 	<p>10 – армированный мелкозернистый торкрет-бетон  <math>\rho = 2200 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,438 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math>            11 – контактные слои из соломобетона  <math>\rho = 500 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,13 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math>            12 – прессованные соломенные блоки  <math>\rho = 50 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,059 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math>            13 – связи из стеклопластиковой арматуры</p>
	<p>Однослойная конструкция стены</p> 	<p>1 – штукатурный слой  <math>\rho = 1800 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,93 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math>            5 – кирпич силикатный  <math>\rho = 1500 \text{ кг/м}^3</math>,  <math>\lambda = 0,64 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}</math></p>

Для получения достоверных данных по температурно-влажностному режиму и параметрам микроклимата в помещении с новой конструкцией «Сельская стена» [19] был отобран экспериментальный образец размерами 600x400x500 мм из натурального фрагмента стены. Он был установлен в оконном проеме (деревянные переплеты с двойным остеклением) лаборатории «Эксплуатационная надежность строительных материалов и конструкций. Секция Бетоны и растворы» БИТТиУ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А. (рис. 1, а, в), что соответствовало климатическим условиям, наиболее приближенным к реальным. При этом открытые части утеплителя из прессованных соломенных блоков были изолированы с помощью пенопласта

Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

(рис. 1, б). Крепление образца выполнено с помощью монтажной пены. Основной материал здания лаборатории института – кирпичная стена из силикатного кирпича толщиной 625 мм, оштукатуренная изнутри цементно-песчаной штукатуркой (табл. 1). Таким образом, исследования температурно-влажностного режима и параметров микроклимата в помещениях были проведены для пяти типов наружных стен. Натурные измерения проводились в период с 21.02.2013 г. по 11.03.2013 г. в дневное время суток. Параметры определялись с интервалом в одну неделю, что соответствует требованиям ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» [25]. Температура наружного воздуха варьировались в пределах от +1 до –13 °С, влажность – от 84 до 90 %.

Все измерения проводились с участием экспертов «Научно-исследовательской лаборатории судебных экспертиз» г. Балаково методом неразрушающего контроля с применением цифровых измерительных приборов. Температура и относительная влажность воздуха в помещении измерены цифровым термогигрометром «Testo605-H1» с погрешностью: по температуре  $\pm 0,5$  °С, по относительной влажности  $\pm 2,5$  %. Температура внутренней поверхности ограждающих конструкций измерена тепловизором «Testo 875-1» с погрешностью  $\pm 1,0$  °С. Все измерения выполнены при закрытых окнах приборами, прошедшими регистрацию и имеющими сертификат.



**Рисунок 1. Экспериментальный образец многослойной стены:**  
**а – общий вид экспериментально образца; б – изоляция утеплителя;**  
**в – установка образца в проектное положение**

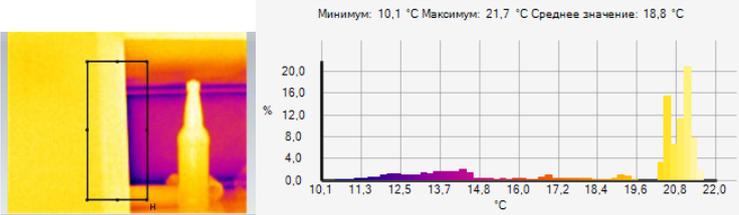
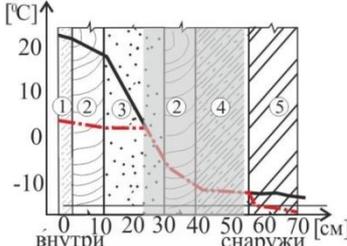
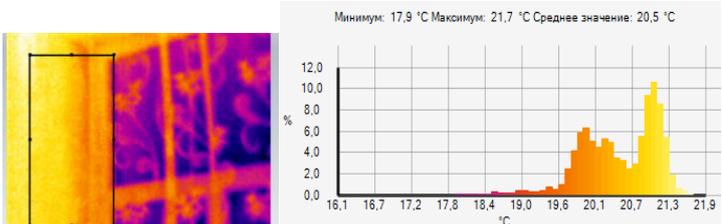
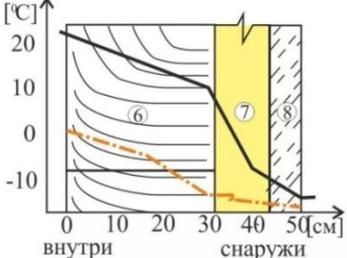
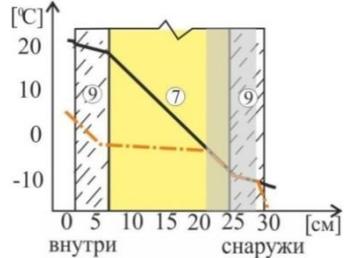
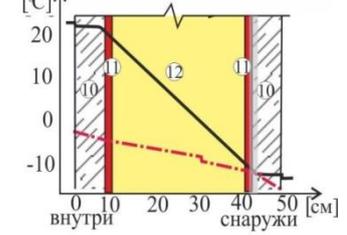
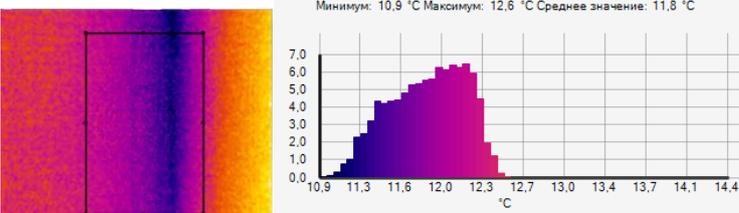
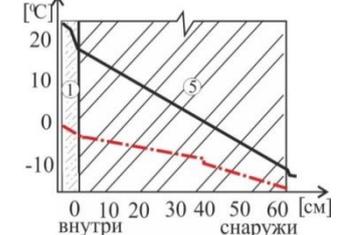
Измерения температур и относительной влажности выполнены в центре помещений на высоте 1,1...1,5 м от пола. Температура внутренней поверхности наружной стены измерялась в центре участков, образованных линиями, продолжающими грани откосов светопроема.

Результаты натурных измерений температурно-влажностного режима стен и параметров микроклимата, полученные на основе экспериментально-теоретических данных с использованием нормативной литературы [26, 27], приведены в таблицах 2, 3.

Условия комфорта формируются температурной обстановкой в помещении, характеризуемой как температурой внутреннего воздуха, так и средней температурой поверхности стены. В общем случае согласно ГОСТ 30494-96 [26] и СНиП 23-02-2003 [27] комфортными условиями в помещении считаются температура воздуха от +20 до +22 °С и относительная влажность воздуха от 30 до 50 %. При температуре поверхности стены более 18 °С необходимый уровень комфорта достигается при более низких температурах воздуха в помещении. Таким образом, наиболее соответствуют комфортным условиям помещения с конструкциями стены жилого дома №1, стены жилого дома №2 (основное здание) и новой конструкции «Сельская стена».

На схемах стационарного тепловлажностного режима (табл. 2) определена зона образования конденсата. Как видно из схем стационарного потока, образование конденсата происходит в слое утеплителя в стенах жилых домов № 1 и 2 (пристройка), что приводит к насыщению их влагой и к промерзанию стены. Это значительно сокращает срок службы конструкций. Кроме этого, образование конденсата между утеплителем и несущим слоем стен в осенне-весеннее время в период накопления влаги при положительных температурах и отсутствии вентиляции воздушной прослойки между стеной приводит к набуханию утеплителя и образованию плесени (биологической коррозии стен) и, как следствие, к потере теплотехнических свойств стены.

Таблица 2. Результаты экспериментально-теоретических исследований температурно-влажностного режима

Объект	Изображение и гистограмма стен	Схема стационарного тепловлажностного режима**
Стены жилого дома № 1	<p style="text-align: center;"><b>2</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>3</b></p> 
Стены жилого дома № 2 (основная часть)		
Стены жилого дома № 2 (пристройка)		
«Сельская стена»		
Стены кирпичные		
<p style="text-align: center;">** — — — температура; - - - точка росы; ■ — зона конденсата</p>		

**Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований параметров микроклимата в помещениях**

Наименование параметра	Объект исследования					Нормируемые значения по СНиП
	Стена жилого дома №1	Стена жилого дома №2 (осн.)	Стена жилого дома №2 (пристр.)	Сельская стена	Кирпичная стена	
1	2	3	4	5	6	7
Температура точки росы, °С	4,5	0,7	1,3	2,1	2,1	0,2...3,4
Внутренняя температура воздуха, °С	22,4	21,5	20,9	23,4	23,4	20...22
Относительная влажность воздуха внутри помещения, %	31,1	25,1	26,8	24	24	30...50
Среднее значение температуры внутренней поверхности стены, °С	18,8	20,5	16,7	13,4	11,8	-
Температура наружного воздуха, °С	-13	-13	-13	-13	-13	-
Относительная влажность воздуха %	90	90	90	90	90	-
Теплопотери, Вт/м <sup>2</sup> ·К	0,14	0,2	0,17	0,16	1,2	-
Конденсат, г/м <sup>2</sup> ·час	43,41	-	11,75	2,24	-	-

В новой конструкции «Сельская стена» с конструкционным слоем из торкрет-бетона конденсация пара возможна на внутренней поверхности этого слоя и частично на поверхности соломобетона. Причем конденсация пара возможна и при положительных температурах на этой границе со стороны помещения. Это обусловлено в 2,1 раза большим сопротивлением паропрооницанию торкрет-бетона по сравнению с соломобетоном. В то же время исключается конденсация пара между слоем утеплителя прессованных соломенных блоков и соломобетоном, так как упрочняющие элементы трубчатого сечения, хаотично ориентированные в пространстве, содержат воздушную прослойку между волокнами и внутри трубчатого сечения. Поэтому конденсация пара на границе соломобетона и торкрет-бетона не требует устройства дополнительной пароизоляции. За счет такой конструкции стена «дышит» и не накапливает конденсат. В условиях протекания неравновесных процессов вынужденного или собственного деформирования, причинами которых являются различного рода внешние воздействия и теплообмен с окружающей средой вследствие интенсификации твердения цемента, происходит деформационное упрочнение. Оно приводит к получению несущих наружных слоев из торкрет-бетона с повышенными физико-механическими свойствами и менее дефектной структурой. При этом в реакцию вовлекается та часть цемента, которая в случае отсутствия неравновесных процессов деформирования на данной стадии осталась бы неиспользованной. Данное обстоятельство, а также факт приобретения несущими наружными слоями 2 из мелкозернистого торкрет-бетона дополнительной прочности за счет деформационного упрочнения дают возможность снизить расход цемента на 10–15 %.

В однослойных кирпичных стенах конденсат зимой образуется часто, но этот факт нередко остается незамеченным в связи с малым количеством конденсата. Кроме того, в теплые сезоны кирпичные стены, как правило, полностью высыхают. Однако такие стены, согласно таблице 3, имеют наибольшие теплопотери и не соответствуют параметрам энергоэффективности.

Таким образом, по результатам натурного обследования рациональными конструктивными решениями стен с учетом определенного температурно-влажного режима, а также соответствующих ему параметров микроклимата жилых помещений являются конструкции стен жилого дома №2 (основная часть) и новая многослойная конструкция «Сельская стена»

## Оценка энергоэффективности рациональных конструкций стен малоэтажных зданий

Энергоэффективность в жилищном строительстве рассматривается как комплекс мероприятий, направленных на снижение потребляемой тепловой энергии, поэтому необходимо провести расчет теплопотерь здания через наружные стены.

Теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции за отопительный период, кВт·ч, определяют по формуле [27]:

$$Q_{tr}^y = 0,024 D_d \sum \frac{1}{R_i} A_i n \quad (1)$$

Здесь  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, определяемые по формуле [27]:

$$D_d = \sum_{ht} (t_{int} - t_{ht}) \quad (2)$$

где  $t_{int}$  – средняя за отопительный период температура внутреннего воздуха в здании, °С;  $t_{ht}$ ,  $Z_{ht}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут, отопительного периода со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже 8 °С (по СНиП 23–01–99\* [28]).

В формуле (1)  $R_i$  – приведенное сопротивление теплопередаче стен, м<sup>2</sup>°С/Вт, принимают по проектным данным или расчетам по СНиП 23–02–2003 [27] согласно фактической конструкции (табл. 1);  $A_i$  – площадь стены, м<sup>2</sup>;  $n$  – поправочный коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху. Для наружных стен  $n = 1$ .

Сравнительная оценка теплопотерь проводилась на 1 м<sup>2</sup> стен с различными конструктивными решениями (рис. 2). В качестве примера приведены данные природных условий Саратовской области [29]. Результаты сравнения представлены в таблице 4.

Исходя из полученных данных, прессованные соломенные блоки можно использовать в качестве альтернативы современным теплоизоляционным материалам. При этом применение органического утеплителя (рис. 2) приведет к повышению энергоэффективности здания в течение года на 30 %, в течение жизненного цикла здания – на 60 % [30].

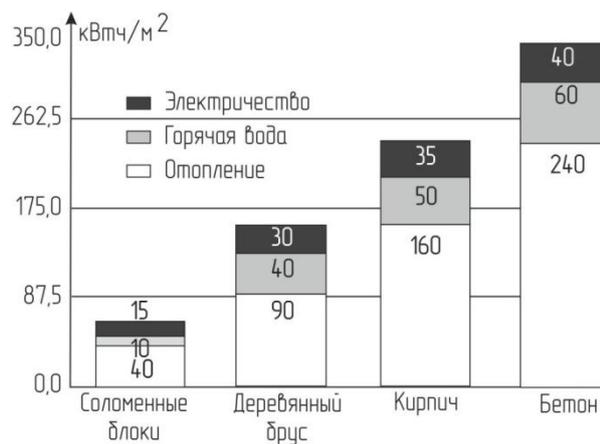


Рисунок 2. Годовое энергопотребление на м<sup>2</sup> жилья, кВт·ч/м<sup>2</sup>

Таблица 4. Результаты расчета теплопотерь на 1 м<sup>2</sup> стены за отопительный период

№ п/п	Наименование конструкции стены	$D_d$ , °С·сут	$R_i$ , м <sup>2</sup> °С/Вт	$Q_{tr}^y$ , кВт·ч
1	«Сельская стена»	5034,7	7,12	11,91
2	Деревянные с утеплителем из стекловаты (стена жилого дома №2, основная часть)		3,904	30,9

Для сравнительной оценки энергетической эффективности предложенного конструктивного решения многослойной стены был разработан эскизный проект мансардного жилого дома для г. Балаково (рис. 3). На основе объемно-планировочного решения и теплотехнических характеристик рассчитаны энергетические паспорта жилого мансардного дома с рациональными конструктивными решениями стен.

Общие теплопотери здания за отопительный период, МДж [27]:

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_e^{sum} \quad (3)$$

Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

где  $K_m$  – общий приведенный коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м<sup>2</sup>°С);  $A_e^{sum}$  – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и пола нижнего отапливаемого помещения, м<sup>2</sup>.

Расчетный удельный расход за отопительный период, МДж/м<sup>2</sup> [27]:

$$q_h^{des} = Q_h^y / A_h, \quad (4)$$

где  $Q_h^y$  – расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, МДж;  $A_h$  – отапливаемая площадь здания, м<sup>2</sup>.

Результаты сравнения приведены на рисунке 4, а, б.

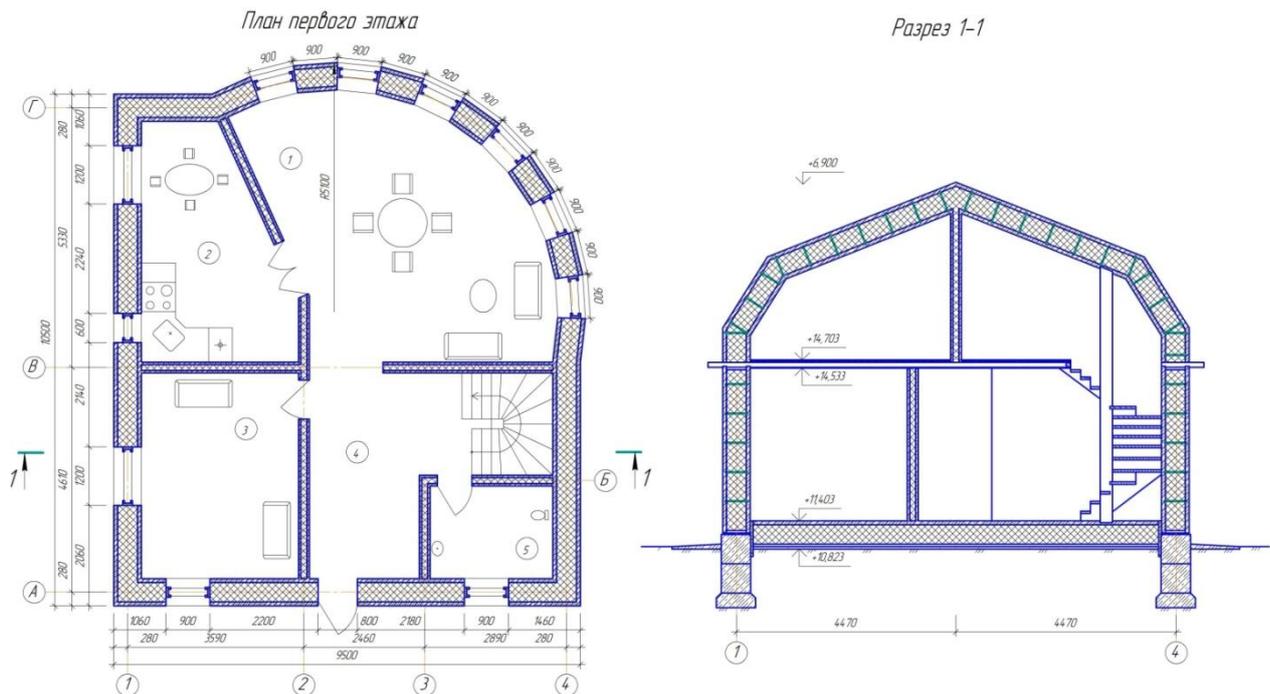


Рисунок 3. План первого этажа и разрез мансардного жилого дома

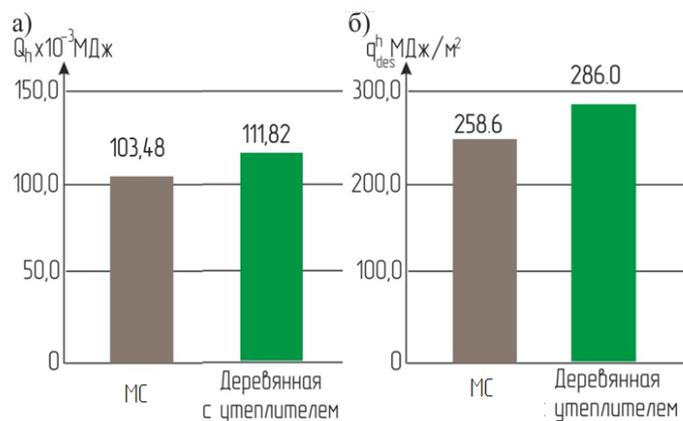


Рисунок 4. Оценка энергоэффективности конструктивных решений стен малоэтажных зданий: а – общие теплопотери здания за отопительный период, МДж; б – расчетный удельный расход за отопительный период, МДж/м<sup>2</sup>

Таким образом, использование в малоэтажных зданиях конструкции «Сельская стена» по сравнению с применением трехслойной конструкции стены жилого дома №2 (основная часть) приведет к сокращению теплопотерь через стены до 50 %, общих теплопотерь здания за отопительный период до 9 % и снижению удельного расхода тепловой энергии за отопительный период до 12 %.

Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

## Заключение

Проведенные экспериментально-теоретические исследования энергоэффективности многослойных стен с применением неорганических и органических утеплителей показали преимущество новой многослойной конструкции «Сельская стена».

1. Проведена сравнительная оценка температурно-влажностного режима многослойной конструкции «Сельская стена» с органическим утеплителем и каркасно-обшивных стен с утеплителем из опилок и стекловаты. Выявлено наличие конденсата в стенах каркасного типа, что приводит к необходимости восстановления теплоизоляции и устранению биологической коррозии стен после 15–20 лет эксплуатации таких зданий.

Тогда как многослойная конструкция «Сельская стена» имеет ряд преимуществ: снижение затрат на обогрев и охлаждение, поскольку стены дома обладают более высокой теплоизоляцией; применение ежегодно возобновляемого экологически чистого продукта, выдерживание высоких перепадов температур без нарушения влажностного режима.

2. Проведена сравнительная оценка температурно-влажностного режима трехслойной стены из цельного сруба, облицованного плитным утеплителем и обшитого брусом, и многослойной конструкции с применением местных экологически чистых материалов «Сельская стена». Выявлено, что данные конструктивные решения стен малоэтажных зданий отвечают необходимым требованиям комфортности параметров микроклимата по СНиП 23-02-2003 и ГОСТ 30494-96 в климатических условиях средней полосы Поволжья.

3. Экспериментально-теоретическая оценка энергоэффективности рациональных конструкций стен показала, что наиболее эффективной для строительства малоэтажных зданий в средней полосе Поволжья является новая конструкция «Сельская стена». Ее применение приведет к сокращению теплопотерь через стены до 50 %, общих теплопотерь здания за отопительный период до 9 % и удельного расхода тепловой энергии за отопительный период до 12 %. Таким образом, проведенные исследования выявили, что многослойная конструкция «Сельская стена» удовлетворяет требованиям СНиП 23-02-2003 и может быть рекомендована для проектирования энергоэффективных зданий в средней полосе Поволжья.

*Работа выполнена в рамках Стипендии Президента РФ в области «Энергосбережение и энергоэффективность, в том числе том числе вопросы разработки новых видов топлива» 2012-2014.*

## Литература

1. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3(8). С. 1–11.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. «Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. №8. С. 2–6.
3. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9–12.
4. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. Изд-во: АВОК-ПРЕСС, 2003. 100 с.
5. Белаш Т.А., Кузнецов А.В. Исследование теплофизических свойств ограждающих конструкций в монолитно-кирпичных домах Санкт-Петербурга // Жилищное строительство. 2007. №10. С. 28–29.
6. Береговой А.М., Викторова О.Л. Энергосбережение в жилых зданиях с альтернативными источниками энергии // Жилищное строительство. 2008. №5. С. 36–37.
7. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4–14.
8. Гагарин В. Г., Козлов В. В. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания // АВОК. 2010. №4. С. 52–66.
9. Годунова Г.Н. Выбор экономичных теплоэффективных ограждающих конструкции коттеджей // Жилищное строительство. 2009. №4. С. 30–31.

Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий

10. Кобулиев З.В. Теплофизические свойства материалов на основе растительно-вяжущей композиции // Жилищное строительство. 2006. №1. С. 24–25.
11. Aldawi F., Alam F., Date A., Alghamdi M., Aldhawi F. A new house wall system for residential buildings // Energy and Buildings. 2013. No 67. Pp. 403–418.
12. Praznik M., V.Butala, Zbašnik M. Senegačnik Simplified evaluation method for energy efficiency in single-family houses using key quality parameters // Energy and Buildings. 2013. No. 67. Pp. 489–499.
13. Walter D. Thomas, John J. Duffy Energy performance of net-zero and near net-zero energy homes in New England // Energy and Buildings. 213. No. 67. Pp. 551–558.
14. Albatici, R., Passerini F., Tonelli A. M., Gialanella S. Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer // Energy and Buildings. 2013. No. 66. Pp. 33–40.
15. Lewandowska A., Noskowiak A., Pajchrowski G. Comparative life cycle assessment of passive and traditional residential buildings' use with a special focus on energy-related aspects // Energy and Buildings. 2013. No. 67. Pp. 635–646.
16. González-Aguilera D., Lagüela S., Rodríguez-González P., Hernández-López D. Image-based thermographic modeling for assessing energy efficiency of buildings façades // Energy and Buildings. 2013. No. 65. Pp. 29–36.
17. Stoppel C.M., Leite F. Evaluating building energy model performance of LEED buildings: Identifying potential sources of error through aggregate analysis // Energy and Buildings. 2013. No. 65. Pp. 185–196.
18. Risholt B., Time B., Anne Hestnes G. Sustainability assessment of nearly zero energy renovation of dwellings based on energy, economy and home quality indicators // Energy and Buildings. 2013. No. 60. Pp. 217–224.
19. Емельянова Т.А. Оценка энергоэффективности новой многослойной конструкции стены для мало-этажных сельских зданий // Альманах современной науки и образования. 2012. № 12-2 (67). С. 31–33.
20. Емельянова Т.А., Денисова А.П. Алгоритм расчета конструкции многослойной стены малоэтажных зданий // Научно-технический вестник Поволжья. Казань. 2011. №6. С. 156–160.
21. Постановление Минстроя РФ №18-81 от 11.08.95 г "О принятии изменений №3 СНиП П-03-79 «Строительная теплотехника» [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.levonevsky.org/bazaru09/postanovi/sbor36/text36911.htm>. (дата обращения: 04.12.2014)
22. Семченков А.С. Научные конструкции и конструктивные решения многоэтажных железобетонных зданий. М.: НИИЖБ, 2007. 237 с.
23. НАМИКС - Национальное агентство малоэтажного и коттеджного строительства [Электронный ресурс]. URL: <http://www.namiks.ru> (дата обращения 10.05.2014).
24. Пат. № 98441. РФ. Многослойный строительный элемент / Т.А. Емельянова, А.П. Денисова // БИ. 2010. №29.
25. ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» (действующая редакция).
26. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» (действующая редакция).
27. СНиП 23–02–2003 Тепловая защита зданий (действующая редакция).
28. СНиП 23–01–99\* Строительная климатология (действующая редакция).
29. Емельянова Т.А., Денисова А.П. Конструкции несущего остова малоэтажных и многоэтажных жилых зданий: учеб.-метод. пособие. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2013. 80 с.
30. Широков Е.И. Экодом нулевого энергопотребления. Реальный шаг к устойчивому развитию // Архитектура и строительство России. 2009. №2. С. 35–39.

*Татьяна Александровна Голова, г. Саратов, Россия  
Тел. раб.: +79372530525; эл. почта: emelyanova-tanya@mail.ru*

*Алла Павловна Денисова, г. Саратов, Россия*

© Голова Т.А., Денисова А.П., 2014

doi: 10.5862/MCE.52.2

# Energy efficiency of the Rural Wall multi-layer structure in low-rise building design

**T.A. Golova**Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia  
+79372530525; e-mail: emelyanova-tanya@mail.ru**A.P. Denisova**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

## Key words

energy saving; wall design solutions in low-rise buildings; thermal and moisture conditions of building envelopes

## Abstract

This paper presents the study on energy efficiency of various wall design solutions and a new multi-layer wall design for low-rise construction as well as the thermovision results for multi-layer and single-layer envelopes. Indoor climate parameters for various wall design solutions were determined.

The study reveals the optimal wall design solutions and specifies the theoretical assessment of their energy efficiency in compliance with Russia's national building code 23-02-2003. The paper presents calculations of building heat loss through the exterior building envelope, reduced thermal resistance of walls and total heat loss of the building with the selected outer wall design during the heating season.

Recommendations on the application of the new multi-layer wall design using local wall materials in the construction of energy-efficient low-rise buildings were developed. The recommendations include requirements for wall materials, for thermal calculations, production guidelines, physical and mechanical properties of wall layers.

## References

1. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Energoeffektivnost ogradhdayushchikh konstruktsiy pri kapitalnom remonte [Energy efficiency building envelopes during overhaul]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. No.3 (8). Pp. 1–11. (rus)
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. «Trebovaniya k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» [The requirements for thermal protection and energy efficiency in the draft of an updated Building codes 23-02-2003 Thermal protection of buildings]. *Housing construction*. 2011. No 8. Pp. 2–6. (rus)
3. Gorshkov A.S. Energoeffektivnost v stroitelstve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu energopotrebleniya zdaniy [Energy efficiency in buildings: the valuation issues and measures to reduce energy consumption of buildings]. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No 1. Pp. 9–12. (rus)
4. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. *Energoeffektivnye zdaniya* [Energy-efficient buildings]. Moscow: Izd-vo AVOK-PRESS, 2003. 100 p. (rus)
5. Belash T.A., Kuznetsov A.V. Issledovanie teplofizicheskikh svoystv ogradhdayushchikh konstruktsiy v monolitno-kirpichnykh domakh Sankt-Peterburga [Thermophysical properties of the building envelope in the monolith-brick houses of St.-Petersburg]. *Housing construction*. 2007. No 10. Pp. 28–29. (rus)
6. Beregovoy A.M., Viktorova O.L. Energoberezhenie v zhilykh zdaniyakh s alternativnymi istochnikami energii [Power savings in residential buildings with alternative energy sources]. *Housing construction*. 2008. No. 5. Pp. 36–37. (rus)
7. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Vliyaniye urovnya teplovoy zashchity ogradhdayushchikh konstruktsiy na velichinu poter teplovoy energii v zdanii [The influence of the level of thermal protection enclosures on the value of heat losses in a building]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 8(34). Pp. 4–14. (rus)
8. Gagarin V. G., Kozlov V. V. O kompleksnom pokazatele teplovoy zashchity obolochki zdaniya [About the complex index of thermal protection of the building envelope]. *AVOK*. 2010. No 4. Pp. 52-66. (rus)
9. Godunova G.N. Vybor ekonomichnykh teploeffektivnykh ogradhdayushchikh konstruktsii kottedzhov [Choosing efficient thermal efficiency envelope design houses]. *Housing construction*. 2009. No 4. Pp. 30–31. (rus)

10. Kobuliev Z.V. Teplofizicheskie svoystva materialov na osnove rastitelno-vyazhushchey kompozitsii [Thermo-physical properties of materials based on plant-binder composition]. *Housing construction*. 2006. No 1. Pp. 24 – 25. (rus)
11. Aldawi F., Alam F., Date A., Alghamdi M., Aldhawi F. A new house wall system for residential buildings. *Energy and Buildings*. 2013. No 67. Pp 403–418.
12. Praznik M., V. Butala, Zbašnik M. Senegačnik Simplified evaluation method for energy efficiency in single-family houses using key quality parameters. *Energy and Buildings*. 2013. No. 67. Pp. 489–499.
13. Walter D. Thomas, John J. Duffy. Energy performance of net-zero and near net-zero energy homes in New England. *Energy and Buildings*. 2013. No. 67. Pp. 551–558.
14. Albatici R., Passerini F., Tonelli A. M. Gialanella S. Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer. *Energy and Buildings*. 2013. No. 66. Pp 33–40.
15. Lewandowska A., Noskowiak A., Pajchrowski G. Comparative life cycle assessment of passive and traditional residential buildings' use with a special focus on energy-related aspects. *Energy and Buildings*. 2013. No. 67. Pp. 635–646.
16. González-Aguilera D., Lagüela S., Rodríguez-Gonzálvez P., Hernández-López D. Image-based thermographic modeling for assessing energy efficiency of buildings façades. *Energy and Buildings*. 2013. No. 65. Pp. 29–36.
17. Stoppel C.M., Leite F. Evaluating building energy model performance of LEED buildings: Identifying potential sources of error through aggregate analysis. *Energy and Buildings*. 2013. No 65. Pp. 185–196.
18. Risholt B., Time B., Anne Hestnes G. Sustainability assessment of nearly zero energy renovation of dwellings based on energy, economy and home quality indicators. *Energy and Buildings*. 2013. No. 60. Pp. 217–224.
19. Emelyanova T.A. Otsenka energoeffektivnosti novoy mnogosloynoy konstruksii steny dlya maloetazhnykh sel'skikh zdaniy [Assessment of energy efficiency of the new multi-layer wall construction for low-rise buildings in rural]. *Almanac of modern science and education*. 2012. No. 12–2 (67). Pp. 31–33. (rus)
20. Emelyanova T.A., Denisova A.P. Algoritm rascheta konstruksii mnogosloynoy steny maloetazhnykh zdaniy [Low apartment houses from local building materials]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzhya*. 2011. No 6. Pp. 156–160. (rus)
21. Postanovlenie Ministroya RF №18-81 ot 11.08.95 g "O prinyatii izmeneniy №3 SNIIP P-03-79 "Stroitel'naya teplotekhnika" ["The adoption of changes №3 SNIP II-03-79" Thermal Engineering"]. [Online resource]. URL: <http://pravo.levonevsky.org/bazaru09/postanovi/sbor36/text36911.htm>. (accessed: December 4, 2014). (rus)
22. Semchenkov A.S. *Naukoemkie konstruksii i konstruktivnye resheniya mnogoetazhnykh zhelezobetonnykh zdaniy* [High technology designs and constructive decisions of many-storeyed ferro-concrete buildings]. Moscow: NIIZHB, 2007. 237 p. (rus)
23. NAMIKS - Natsionalnoe agentstvo maloetazhnogo i kottedzhnogo stroitelstva [National Agency of low-rise and cottage construction]. [Online resource]. URL: <http://www.namiks.ru> (accessed: May 10, 2014). (rus)
24. Pat. № 98441. Russian Federation. *Mnogosloynnyy stroitel'nyy element* [Multilayer construction element]. T.A. Emelyanova, A.P. Denisova. 2010. No. 29. (rus)
25. GOST 26254-84 «Zdaniya i sooruzheniya. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruksiy» [Buildings and Structures. Methods for determining the R-value] (current version). (rus)
26. GOST 30494-96 «Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh» [Residential and public buildings. Parameters indoor climate] (current version). (rus)
27. SNIIP 23–02–2003 *Teplovaya zashchita zdaniy* [Building codes 23-02-2003 Thermal performance of the buildings]. (rus)
28. SNIIP 23–01–99\* *Stroitel'naya klimatologiya* [Building codes 23-01-99\* Building climatology]. (rus)
29. Emelyanova T.A., Denisova A.P. Konstruksii nesushchego ostova maloetazhnykh i mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [The design of the carrier core low-rise and high-rise residential buildings]. Saratov: Izd-vo Sarat. gos. tekhn. un-t, 2013. 80 p. (rus)
30. Shirokov E.I. Ekodom nulevogo energopotrebleniya. Realnyy shag k ustoychivomu razvitiyu [Eco-house zero energy consumption. Real step towards sustainable development]. *Architecture and construction in Russia*. 2009. No. 2. Pp. 35–39. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 9–19**