

О ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ ДВУХСЛОЙНОЙ СТЕНОВОЙ КОНСТРУКЦИИ



А. С. Горшков, канд. техн. наук, директор научно-учебного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

П. П. Рымкевич, канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры физики ФГКВОУ ВПО «Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского»

Н. И. Ватин, доктор техн. наук, профессор, директор Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

В ряде случаев* удельное потребление тепловой энергии в старых панельных зданиях и современных монолитно-каркасных домах с двухслойными стенами из газобетона и лицевого кирпича практически не отличается. Одна из причин этого явления состоит в том, что конструкции двухслойных стен зачастую переоценены с точки зрения их теплозащитных параметров.

Поэтому был проведен расчет приведенного сопротивления теплопередаче двухслойной стеновой конструкции, показавший, что ее теплотехнические характеристики не соответствуют не только требуемым, но и минимально допустимым нормативным требованиям. На стадии проектирования для данного конструктивного решения обычно закладывают коэффициент теплотехнической однородности 0,9, который для многих случаев является завышенным. Кроме того, проектировщики пользуются необоснованными значениями теплопроводности газобетона.

* Данные по величине фактического энергопотребления жилых зданий разных лет постройки были собраны и проанализированы авторами статьи. – Прим. ред.

В настоящее время в практике проектирования и строительства зданий с монолитным железобетонным каркасом и поэтажным опиранием наружных стен на монолитные или сборно-монолитные железобетонные перекрытия одним из наиболее распространенных вариантов заполнения наружной теплозащитной оболочки является конструктивное решение стены, состоящее из двух слоев (рис. 1):

- внутреннего несущего слоя, выполненного кладкой из газобетонных блоков толщиной 300–400 мм в зависимости от региона строительства и его климатических параметров;

- наружного облицовочного слоя из лицевого кирпича толщиной в один или два кирпича.

Описание конструкции стенового ограждения

В рассматриваемом конструктивном решении внутренний слой стенового ограждения выполняет функцию теплоизоляции, наружный – функцию защиты от внешних климатических воздействий, обеспечивает требуемую долговечность фасадов и формирует архитектурный облик здания. Считается, что данное конструктивное решение удовлетворяет требованиям тепловой защиты для большинства регионов Российской Федерации.

В Санкт-Петербурге традиционным решением является стеновое ограждение, в котором толщина газобетонного слоя составляет 375 мм (рис. 1а).

Нормативные требования

В СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (далее – СНиП 23-02) для зданий установлены три показателя тепловой защиты:

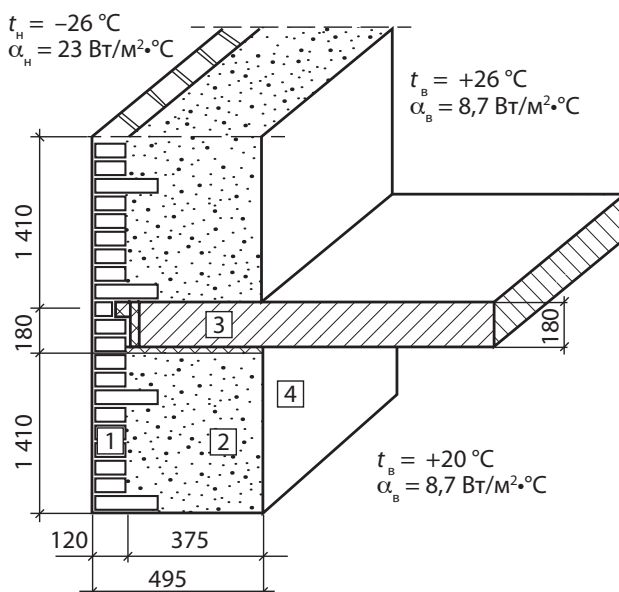
- а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;
- б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;
- в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величины теплоза-

щитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Приведенное сопротивление теплопередаче R'_0 ограждающих конструкций следует принимать не менее нормируемых значений¹ R_{req} , определяемых² в зависимости от градусо-суток отопительного периода (далее – ГСОП) района строительства.

ГСОП для жилых зданий, расположенных на территории Санкт-Петербурга, составляют³ 4 796 °С•сут, а нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче для наружных стен жилых зданий составляет⁴ 3,08 м²•°С/Вт. При этом допускается⁵ снижение нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче для стен жилых и общественных зданий на 37% при выполнении требования СНиП 23-02 (п. 5.1).

Таким образом, применительно к рассматриваемому случаю минимально допустимое значение приведенного сопротивления теплопередаче для наружных стен жилых зданий, проектируемых на территории Санкт-Петербурга, не должно быть ниже⁶ $R_{min} = 1,94$ м²•°С/Вт.



- 1 – кирпичная кладка из обыкновенного глиняного кирпича;
- 2 – кладка из газобетонных блоков марки по плотности D400;
- 3 – железобетон;
- 4 теплоизоляция

Рис. 1. Конструктивное решение наружной двухслойной стены

¹ В соответствии с требованиями СНиП 23-02 (п. 5.3).

² Согласно СНиП 23-02, таблица 4.

³ Согласно требованиям РМД 23-16-2012 «Санкт-Петербург. Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий», таблица 3.

⁴ Там же, таблица 9.

⁵ Согласно требованиям СНиП 23-02, п. 5.13.

⁶ См. СНиП 23-02, формула (8).

Цель и задачи исследования

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^r для наружных стен следует рассчитывать для фасада здания либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов проемов без учета их заполнений⁷. Рассмотрим на конкретном примере, как выполняется это требование на практике.

Для этого произведем расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен промежуточного этажа типового многоквартирного жилого здания с конструктивной монолитно-каркасной схемой и двухслойными наружными стенами (рис. 1) и сравним полученное значение с нормируемым R_{req} и минимально допустимым R_{min} значениями приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен жилого многоквартирного здания.

Исходные данные для теплотехнического расчета

Район строительства – Санкт-Петербург.

Назначение здания – жилое.

Расчетная температура: внутреннего воздуха $t_b = 20$ °С; наружного воздуха $t_n = -26$ °С.

Зона влажности – влажная.

Влажностный режим помещений здания – нормальный.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б».

Теплотехнические характеристики материалов, применяемых в составе стенового ограждения:

- цементно-песчаный раствор $\gamma_0 = 1800$ кг/м³, $\lambda_b = 0,93$ Вт/(м • °С);

- кирпичная кладка из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе $\gamma_0 = 1800$ кг/м³, $\lambda_b = 0,80$ Вт/(м • °С);
- кладка из стеновых неармированных блоков из автоклавного газобетона плотностью $\gamma_0 = 400$ кг/м³, $\lambda_b = 0,14$ Вт/(м • °С).

Граничные условия:

Расчетный коэффициент теплоотдачи:

- внутренней поверхности стены $\alpha_{int} = 8,7$ Вт/(м² • °С);
- оконных блоков $\alpha_{int} = 8$ Вт/(м² • °С);
- наружной поверхности стен, окон $\alpha_{ext} = 23$ Вт/(м² • °С).

Расчетные схемы фрагментов наружных стен представлены на рис. 2.

Результаты расчета

Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемых фрагментов теплозащитной оболочки здания вычислено на основе расчета температурных полей. Сущность метода заключается в моделировании стационарного процесса теплопередачи через ограждающие конструкции зданий с использованием компьютерных программ⁸. Метод предназначен для оценки температурного режима и расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий или их фрагментов с учетом геометрической формы, расположения и характеристик конструктивных и теплоизоляционных слоев, температур окружающего воздуха, коэффициентов теплоотдачи поверхностей.

Величина приведенного сопротивления теплопередаче среднего промежуточного этажа R_0^r определена

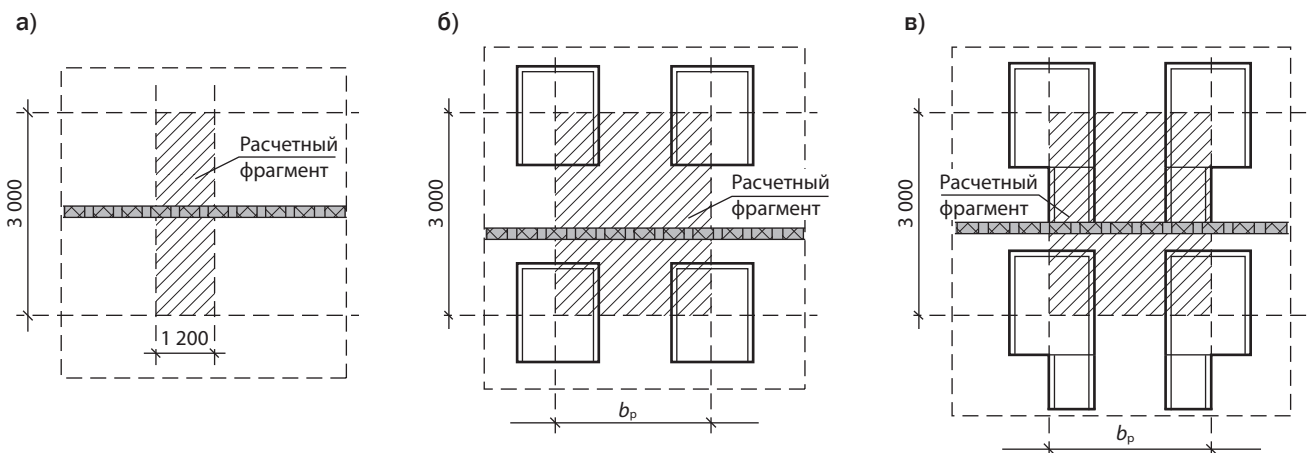


Рис. 2. Схемы расчетных фрагментов наружной двухслойной стены

⁷ Согласно требованиям СНИП 23-02, п. 5.6.

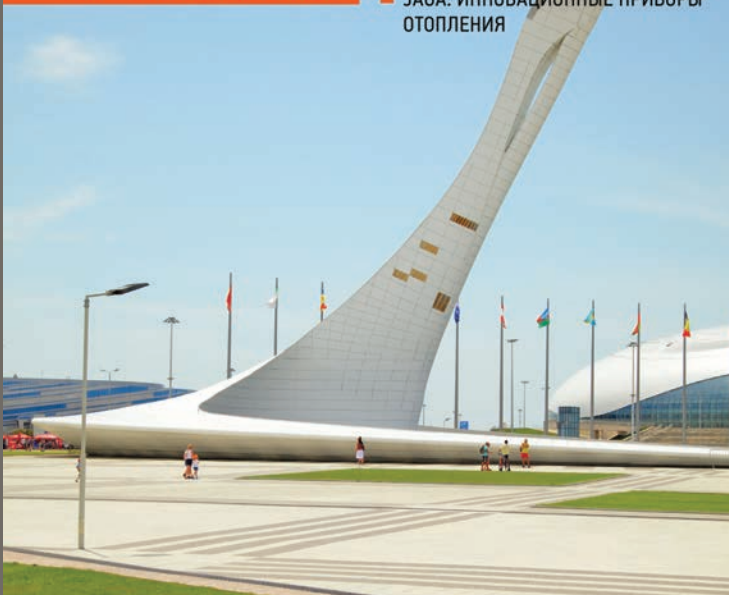
⁸ В нашем случае расчет выполнен с использованием программного комплекса TEMPER 3D [1, 2].

ЗДАНИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лето 2014

E-MAGAZINE SUSTAINABLE BUILDING TECHNOLOGIES

- ЭКСПЕРТЫ НП «АВОК» НА ОЛИМПИЙСКИХ ОБЪЕКТАХ СОЧИ
- КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ – ЗАЛОГ УСПЕХА
- JAGA: ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ ОТОПЛЕНИЯ



ЭКСПЕРТЫ НП «АВОК» НА ОЛИМПИЙСКИХ ОБЪЕКТАХ СОЧИ

zvt.abok.ru



ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ

6 Эксперты НП «АВОК» на олимпийских объектах Сочи

20-21 июня 2014 года состоялось международное совещание по теме «Современные технологии на объектах олимпийской инфраструктуры: опыт, организационный НТ «АВОК» при информационном партнерстве многопрофильного сектора и сайта «Здания высоких технологий». Целью мероприятия стало демонстрация инновационных инженерных решений на построенных в XXI столетии объектах в Сочи и в Сочи-2014 года объектах в Сочи, а также встречи со службой эксплуатации этих сооружений.

18 Первые исследования в области Возрождения в Европе

Заброшенные здания поодиночке или в комплексе и значительный объем потребления энергии. Включить идеи и реальность удалось компании JPA. Отнести этому способствовали другие исследовательские мероприятия. Система от тестирования и использования.

30 Энергоэффективный жилой дом в ХАБ-районе

В старом районе Кабаровка в 2013 году успешно функционировал жилой дом, основанный современными энергоэффективными технологиями. Стратегия разработки, получения и прикладного использования JPA. Отнести этому способствовали другие исследовательские мероприятия. Система от тестирования и использования.

40 JAGA: инновационный прибор отопления

В течение последних лет на российском рынке появилось множество новых инновационных и эффективных приборов отопления. Компания JAGA предлагает инновационное оборудование JAGA.

44 DECAR – новая технология тепловлажной обработки воздуха

Технология DECAR (декарт) инновационная европейской компании в ТЭП-300 вальцовый механизм отработавший годами на рынке является JAGA. Многие европейские эксперты высоко оценили результаты разработки в виде ее эффективности и многофункциональности.

50 Биодативная оболочка здания

Адаптация – это способность системы реагировать на изменения окружающей среды. Многие организации используют адаптивные оболочки, преобразовывая и накапливая энергию, воду и другие ресурсы. Биодативная оболочка здания – это способность системы реагировать на изменения окружающей среды.

10 Комплексный подход к эксплуатации зданий – залог успеха

Проектирование, строительство, монтаж инженерных систем – это только часть работы. Тогда как эксплуатация предполагает на протяжении всей жизни здания. Система комплексного подхода к эксплуатации зданий и сооружений. Александр Васильев, Руководитель.

Реклама

БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА zvt.abok.ru/subscription

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Нумерация формулы в тексте	Формула	Результат
(1)*	$R_o^r = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n (A_i / R_{0,i}^r)}$	1,81
(2)**	$R_o = R_{si} + R_k + R_{se} = R_{si} + \sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i + R_{se}$	2,99
(3)	$r = R_o^r / R_o$	0,61

Обозначения в формулах

R_o^r – приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен среднего промежуточного этажа многоквартирного жилого дома с учетом площадей участков стен по фасадам здания, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

A_i – площадь i-го участка стены, m^2

$R_{0,i}^r$ – приведенное сопротивление i-го участка (фрагмента), $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

R_o – условное сопротивление теплопередаче (без учета влияния теплопроводных включений на теплотехническую однородность стен), $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

$R_{si} = 1 / \alpha_{int} \cdot \alpha_{int}$ – коэффициент*** теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$

$R_{se} = 1 / \alpha_{ext} \cdot \alpha_{ext}$ – коэффициент**** теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

δ_i – толщина i-го слоя многослойной ограждающей конструкции, m

λ_i – теплопроводность материала i-го слоя многослойной ограждающей конструкции, $Вт / (m \cdot ^\circ C)$, принимаемая для условий эксплуатации «А» или «Б» в зависимости от зоны влажности района проектирования и влажностного режима помещения [3]

* Источник: СП 23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», формула (22).

** Там же, формула (8).

*** Принимается согласно СНиП 23-02, таблица 7.

**** Принимается согласно СП 23-101–2004, таблица 8.

на основании расчета приведенного сопротивления ряда участков (фрагментов) $R_{0,i}^r$ с учетом потерь тепла через торцы плит перекрытий, откосы оконных проемов и балконных дверей (см. таблицу), в частности следующих фрагментов:

- глухой стены без проемов, размеры: по высоте – высота этажа $h = 3,0$ м, по ширине – $1,2$ м (рис. 2а);
- стены с оконными проемами, размеры: по высоте – высота этажа $h = 3,0$ м, по ширине – расстояние между осями оконных проемов (рис. 2б);
- стены с балконной дверью, размеры: по высоте – высота этажа $h = 3,0$ м, по ширине – расстояние между осями простенков (рис. 2в).

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен среднего промежуточного этажа многоквартирного жилого дома R_o^r с учетом площадей участков стен по фасадам здания, рассчитанное по формуле (1) (см. Расчетные формулы), составляет $1,81 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Рассчитав условное (без учета влияния теплопроводных включений на теплотехническую однородность стен) сопротивление теплопередаче R_o рассматриваемого конструктивного решения (формула (2), Расчетные формулы), получим $2,99 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Отсюда коэффициент теплотехнической однородности r , рассматриваемый в примере наружной стены типового промежуточного этажа с учетом откосов проемов без учета их заполнений, будет равен $0,61$ (формула (3), Расчетные формулы).

Что влияет на коэффициент теплотехнической неоднородности?

В [4] для аналогичного конструктивного решения получено еще более низкое расчетное значение коэффициента теплотехнической однородности $r = 0,48$.

Различия в коэффициентах теплотехнической однородности могут быть обусловлены различиями использованных в проекте конструктивных решений, количественного и качественного состава теплопроводных включений. Также теплотехническая неоднородность стеновой конструкции зависит от качества монтажа.

В частности, в [4] отмечено, что по результатам съемки 15 термограмм измеренное в натуральных условиях сопротивление теплопередаче двухслойной наружной стены составило $1,3–1,5 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ (при условном сопротивлении теплопередаче стенового ограждения $R_o = 3,92 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$). Получается, что фактический коэффициент теплотехнической однородности может оказаться еще меньше расчетного значения и составлять согласно [4] $r = (1,3 \div 1,5) / 3,92 = 0,33 \div 0,38$.

Особенности конструктивного решения участка стены	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{0,i}^r, m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	Площадь A_i, m^2
Глухой участок стены (без проемов)	2,09	61,20
Глухой участок стены с колонной (без проемов)	1,73	94,68
Участок стены с оконными проемами (при утеплении откосов)	1,76	82,12
Участок стены с балконными дверями (с учетом остекления лоджии)	1,77	40,90

В качестве одной из возможных причин выявленного несоответствия в [4] отмечается некачественное строительство, обусловленное поступлением на строительную площадку блоков неправильной формы. Действительно, наличие трещин, разломов, выбоин и иных дефектов изделий может приводить к перерасходу строительного раствора [5], который выступает в качестве дополнительного теплопроводного включения, не учитываемого при расчете.

Следует отметить, что фактическая влажность изделий из газобетона в начальный период эксплуатации может значительно превышать расчетную [5]. В этой связи теплопроводность изделий из газобетона может оказываться выше по сравнению с принятыми в проекте расчетными значениями, т.к. теплопроводность материала зависит от массового содержания влаги.

Исходя из полученных расчетов, сформулируем следующие выводы:

■ Приведенное сопротивление теплопередаче R'_0 двухслойной стеновой конструкции, состоящей из внутреннего самонесущего слоя из газобетонных стеновых неармированных блоков марки по плотности D400 и наружного облицовочного слоя из лицевого керамического кирпича толщиной 120 мм, вычисленное на основе расчета температурных полей для типового промежуточного этажа многоквартирного жилого здания, составляет $1,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

■ Конструкция рассмотренного стенового ограждения (рис. 1) не удовлетворяет нормативным требованиям по тепловой защите ($R_{\text{req}} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

■ Конструкция стенового ограждения (рис. 1) не удовлетворяет минимально допустимым требованиям по тепловой защите ($R_{\text{min}} = 1,94 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

■ Коэффициент теплотехнической однородности r конструкции наружной стены, выполненной кладкой из газобетонных блоков марки по плотности D400 с облицовочным слоем из лицевого кирпича, не превышает 0,61.

■ Фактическое значение коэффициента теплотехнической однородности рассматриваемого конструктивного решения, с учетом качества доставленных на объект изделий и качества их монтажа, может оказаться существенно меньшим по сравнению с расчетным значением.

■ Для обеспечения нормативных требований к уровню тепловой защиты наружных стен зданий в составе стенового ограждения (рис. 1) следует либо увеличивать толщину газобетонных блоков в составе двухслойной стеновой конструкции, либо использовать промежуточный слой из теплоизоляционных материалов с расчетной теплопроводностью не более $0,05 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$. Слой теплоизоляции следует располагать между газобетонным и лицевым (облицовочным) слоями.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ АВОК



Компьютерный расчет НП «АВОК» позволяет определить фактическое сопротивление теплопередаче для стандартных конструкций и базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче по СП 50.13330.2012, разработанному под руководством доктора техн. наук В. Г. Гагарина

■ Во всех случаях для эффективного удаления влаги из состава стенового ограждения между слоем теплоизоляции и лицевым кирпичом следует предусматривать вентилируемый зазор, эффективное сечение которого (толщина) должно определяться расчетом.

Литература

1. Кривошеин А.Д., Федоров С.В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8.
2. Кривошеин А.Д., Федоров С.В. Руководство пользователя программным комплексом «TEMPER» по расчету температурных полей ограждающих конструкций зданий. Омск: СибАДИ, 1997.
3. Соколов Н.А., Горшков А.С. Теплопроводность строительных материалов и изделий: уровень гармонизации российских и европейских строительных стандартов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 6 (185).
4. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5.
5. Немова Д.В., Спиридонова Т.И., Куражова В.Г. Незвестные свойства известного материала // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. ■