

## Деформативность штукатурных составов в современных теплоэффективных наружных стенах зданий

*Д.т.н., профессор В.В. Бабков;  
аспирант О.А. Резвов\*;  
аспирант Э.А. Гафурова;  
к.т.н., доцент Д.В. Кузнецов;  
к.т.н., старший преподаватель Д.А. Сеницин;  
аспирант Р.С. Кильдибаев;  
аспирант Р.Р. Вахитов,  
ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет;  
к.т.н. А.А. Самойлов,  
ООО «Баумит»*

**Ключевые слова:** теплоэффективные наружные стены зданий; фасадные штукатурные системы; деформативность штукатурных составов

В связи с повышением требований к теплозащите ограждающих конструкций зданий и освоением в строительстве теплоэффективных конструкций наружных стен в последние годы актуальной становится проблема защиты от внешних воздействий стен этой категории и обеспечения их долговечности [1–4]. В проектировании и строительстве жилых домов и зданий другого назначения в России и, в частности, в Республике Башкортостан как один из вариантов теплоэффективных стен широкое распространение получила фасадная теплоизоляция с оштукатуриванием по сетке. Данный тип теплоэффективной стены может применяться как в строительстве новых сооружений, так и при реконструкции и санации существующих эксплуатируемых зданий [5–9].

### Состояние вопроса

Система фасадной теплоизоляции, включающая слой эффективного утеплителя в виде пенополистирола или минераловатной изоляции высокой средней плотности, защищается в стандартных решениях оштукатуриванием по сетке. Защитная штукатурка используется также для наружной отделки стен, выполненных из автоклавных газобетонных блоков [10]. Система предполагает, при условии применения кондиционных утеплителей и элементов штукатурной системы, сохранение первоначальных теплозащитных и гидрозащитных свойств наружной стены на длительный эксплуатационный период. Большинство разработчиков систем фасадной теплоизоляции определяют безремонтный срок службы для своих систем в пределах 30–40 лет, однако в реальных условиях при использовании некондиционных материалов наблюдаются примеры отказов системы уже через несколько лет эксплуатации.

Основную роль в обеспечении долговечности теплоэффективных наружных стен с применением защитно-декоративных штукатурных систем играет стойкость фасадных штукатурок к воздействию внешних факторов в процессе эксплуатации [11–15]. Важнейший показатель для фасадных штукатурок – способность воспринимать развивающиеся в них усадочные и термомеханические напряжения без образования трещин и отслоения от основы. Трещиностойкость штукатурного раствора обеспечивает эстетичный вид фасада и ограничивает попадание влаги под штукатурку, что может вызвать отслоение штукатурного слоя и отразиться на долговечности стены. Основной характеристикой штукатурных покрытий, определяющей их трещиностойкость и влияющей на долговечность, является предельная растяжимость штукатурного раствора, количественные значения которой не представлены в паспортных характеристиках ни одним производителем сухих штукатурных смесей и разработчиком систем фасадной теплоизоляции. В литературе имеются данные по предельной растяжимости бездобавочных цементно-песчаных растворов [3]. Однако современные штукатурные смеси имеют в своем составе добавки, которые значительно повышают предельную растяжимость штукатурных составов, что способствует повышению их трещиностойкости. Кроме того, в нормативных

Бабков В.В., Резвов О.А., Гафурова Э.А., Кузнецов Д.В., Сеницин Д.А., Кильдибаев Р.С., Вахитов Р.Р., Самойлов А.А. Деформативность штукатурных составов в современных теплоэффективных наружных стенах зданий

документах не нормируется усадка штукатурных растворов, хотя именно усадочные напряжения являются одним из главных факторов, обуславливающих растрескивание штукатурок.

Следует признать, что методики определения такой важной для штукатурных растворов характеристики, как предельная растяжимость, в России не существует, а это приводит к тому, что технические свидетельства о пригодности систем утепления наружных стен к применению в строительстве на территории РФ оформляются без полных испытаний всех элементов защитно-декоративных систем, определяющих долговечность стены в целом.

### **Существующие методы определения деформативности штукатурных растворов**

В настоящей статье предлагается методика определения предельной растяжимости штукатурных растворов, используемых в структуре наружных стен.

Существуют способы определения условной деформативности цементных бетонов на растяжение  $\epsilon_{ult}$  [15]. По одному из способов эта характеристика рассчитывается как отношение прочности образцов при растяжении, получаемой раскалыванием кубов или цилиндров  $R_{раск}$ , к динамическому модулю упругости  $E_{дин}$ , определяемому на образцах из бетона того же состава физическими методами. Еще один способ предполагает определение деформативности путем измерения деформаций с помощью тензодатчиков омического сопротивления, приклеенных на образцы-восьмерки в ходе испытания этих образцов на прочность при растяжении.

Однако перечисленные выше способы не могут быть использованы для испытания штукатурок. Способ, по которому предельная растяжимость бетона вычисляется как отношение  $\epsilon_{ult} = R_{раск} / E_{дин}$ , является косвенным. Кроме того, при определении деформации путем измерения прочности при растяжении раскалыванием и динамического модуля упругости, прочность при раскалывании  $R_{раск}$  обычно на 10–15% выше прочности при растяжении  $R_p$ , определяемой при прямом испытании образцов-восьмерок материала на осевое растяжение. Динамический модуль упругости, кроме того, больше статического модуля упругости примерно на 20–25%. Таким образом, каждая из измеряемых характеристик определяется с погрешностями. Это приводит к тому, что получаемая деформация фактически существенно больше предельной растяжимости  $\epsilon_{ult}$ .

При измерении предельной растяжимости с помощью тензодатчиков возникает трудность синхронизации данных измерения деформаций и разрушающей нагрузки, приводимой далее к напряжению.

Наиболее существенным недостатком обоих методов является то обстоятельство, что в них реализуется испытание образцов с размерами, существенно отличающимися от толщины реального штукатурного слоя.

### **Предлагаемая методика определения предельной растяжимости цементных штукатурных составов**

Чтобы исключить необходимость применения средств тензометрии, повысить точность искомых параметров, а также успешно провести испытания на слоях штукатурки, учитывая ее характерно малую толщину – от нескольких миллиметров до 2–3 см, был разработан специальный способ определения предельной растяжимости цементных штукатурных составов. В предлагаемом способе величину предельной растяжимости штукатурного раствора определяют испытанием на растяжение при изгибе стальных балочек с нанесенным на их нижнюю плоскость штукатурным составом. Испытание производится по схеме двухточечного изгиба с плавным нагружением малыми ступенями и фиксацией степени нагружения, соответствующей моменту трещинообразования, а значение предельной растяжимости рассчитывают по формуле:

$$\epsilon_{ult}^{ш.р.} = \frac{3Pa}{E_s b h^2},$$

где  $\epsilon_{ult}^{ш.р.}$  – предельная растяжимость штукатурного раствора;  $P$  – прикладываемая нагрузка, равная двум равностоящим от опор сосредоточенным силам  $P/2$ , кН;  $a$  – расстояние от опоры балочки до точки приложения сосредоточенной силы  $P/2$ , см;  $E_s$  – модуль упругости стали,  $2 \cdot 10^5$  МПа;  $b$  – ширина стальной балочки, см;  $h$  – высота балочки, см.

Бабков В.В., Резвов О.А., Гафурова Э.А., Кузнецов Д.В., Синицин Д.А., Кильдибаев Р.С., Вахитов Р.Р., Самойлов А.А. Деформативность штукатурных составов в современных теплоэффективных наружных стенах зданий

Равномерное нагружение штукатурного слоя на цементной основе обеспечивается центрированным положением испытуемого образца, что обеспечивает однородное напряженное состояние в его сечении. Таким образом, достигается технологическая простота проведения испытаний и повышается точность определения величины предельной растяжимости.

На рисунке 1 представлена методика испытания по схеме двухточечного изгиба с плавным нагружением испытуемого образца малыми ступенями нагрузки.

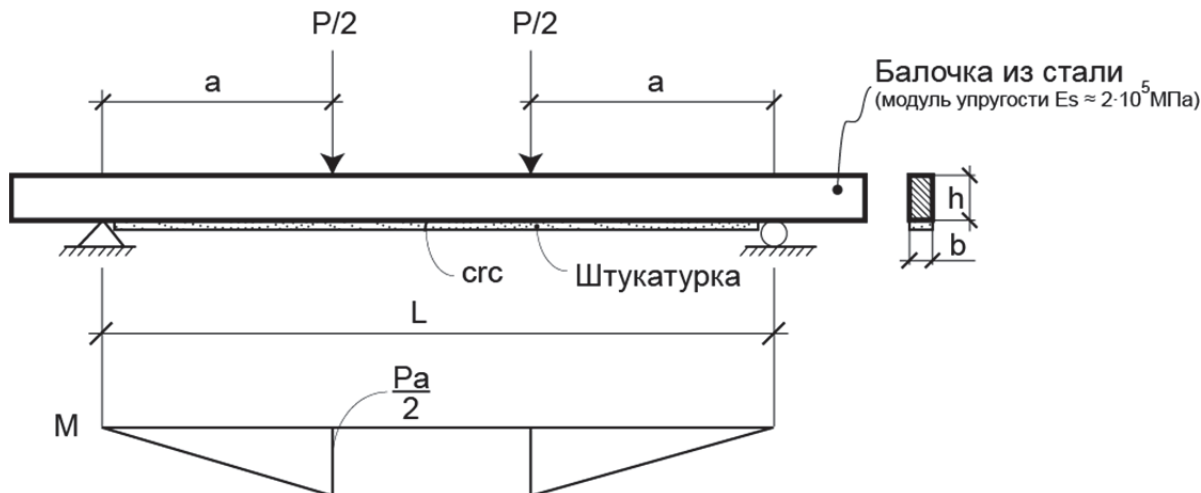


Рисунок 1. Методика испытания

Применительно к нагружению по схеме двухточечного изгиба стальной балочки сечением  $b \times h$  и длиной (пролетом)  $l$  изгибающий момент в зоне чистого изгиба составит:

$$M = \frac{P}{2} \cdot a, \quad (1)$$

$$W_s = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (2)$$

где  $W_s$  – момент сопротивления сечения балочки,  $\text{см}^3$ .

Нормальное напряжение в крайнем растянутом волокне балочки

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} = \frac{6Pa}{2bh^2} = \frac{3Pa}{bh^2}, \quad (3)$$

при этом  $\sigma_s$  – предельно допустимое напряжение, принимаемое пониженным относительно предела текучести стали  $\sigma_y$  на 10–20%, МПа.

Из условия совместности деформаций, при допущении об отсутствии влияния слоя раствора на напряженно-деформированное состояние стальной балочки, получим:

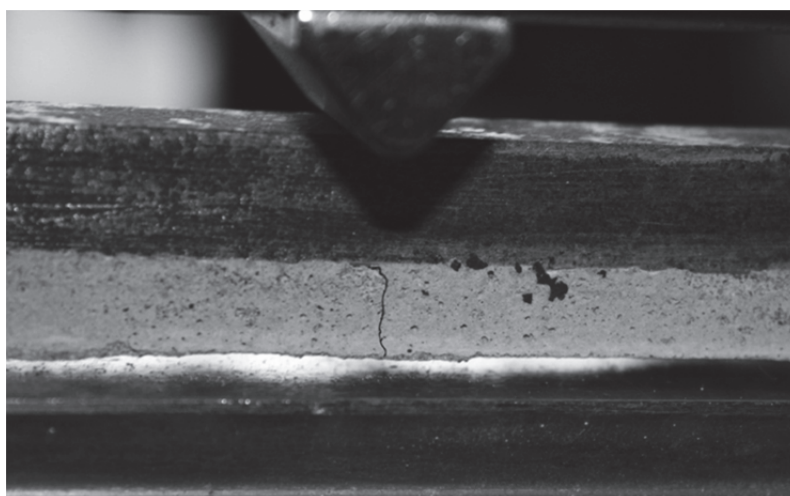
$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{3Pa}{E_s bh^2} = \varepsilon_{ult}^{u.p.}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{ult}^{u.p.}$  – предельная растяжимость штукатурного раствора, равная

$$\varepsilon_{ult}^{u.p.} \leq 0,8 \frac{\sigma_y}{E_s}. \quad (5)$$

## Экспериментальное исследование эффективности предлагаемой методики. Результаты испытаний

Эффективность разработанного способа исследовалась экспериментально. Лабораторные испытания проводились для различных штукатурных составов: бездобавочный цементно-песчаный раствор, Быстрой ОК Теплоизоляция, Baumit StartContact, Baumit Artoplast. Для испытаний подготавливались предварительно ошкуренные обезжиренные стальные балочки (марки стали С230, С440) с размерами 7х10х200мм, на нижнюю поверхность которых наносился штукатурный слой постоянной толщины. Далее эти образцы выдерживались в нормальных условиях (температура  $(20\pm 2)$  °С, влажность  $(90\pm 5)\%$ ) необходимое количество суток. По истечении срока хранения в нормальных условиях балочки помещались в естественные условия (температура  $(20\pm 2)$  °С, влажность  $(55\pm 5)\%$ ) на сутки для удаления поверхностной влаги и в целях исключения влияния усадочных деформаций на результаты испытания. Далее образцы устанавливали на опоры прессы с механической системой нагружения (пресс механический, 5кН УП-8) и после 14 и 28 суток хранения в нормально-влажностных условиях подвергали испытанию с плавным нагружением малыми ступенями (рисунок 2).



**Рисунок 2. Трещинообразование штукатурного раствора Baumit StarContact после достижения предельной растяжимости по разработанной методике**

В таблице 1 представлены результаты испытания нескольких видов штукатурных составов на предельную растяжимость по авторской методике.

**Таблица 1. Результаты испытаний штукатурных составов на цементной основе на предельную растяжимость**

№ серии	Наименование испытываемого состава штукатурного раствора	Возраст испытываемого штукатурного раствора, сут	Предельная растяжимость, $\epsilon_{ult}$
1	Цементно-песчаный раствор (Ц/П=1/3)	14	$13,9 \cdot 10^{-5}$
2	Цементно-песчаный раствор, Ц/П=1/3; $M_{кр}=1,25$	28	$15,0 \cdot 10^{-5}$
3	Цементно-песчаный раствор, Ц/П=1/3; В/Ц=0,4; $M_{кр}=1,25$	28	$15,0 \cdot 10^{-5}$
4	Baumit StartContact (В/В=0,25)	14	$>92 \cdot 10^{-5}$
5	Baumit StartContact (В/В=0,25)	14	$>92 \cdot 10^{-5}$
6	Baumit StarContact (В/В = 0,25)	28	$>92,0 \cdot 10^{-5}$
7	Baumit Artoplast (В/В=0,25)	14	$>92 \cdot 10^{-5}$
8	Baumit Artoplast (В/В = 0,25)	28	$>92,0 \cdot 10^{-5}$
9	Baumit Artoplast (В/В=0,25)	28	$110 \cdot 10^{-5}$
10	Baumit Artoplast (В/В=0,25)	28	$>180 \cdot 10^{-5}$
11	Быстрой ОК Теплоизоляция (В/В=0,25)	14	$>92 \cdot 10^{-5}$
12	Быстрой ОК Теплоизоляция (В/В=0,25)	14	$140 \cdot 10^{-5}$

Бабков В.В., Резвов О.А., Гафурова Э.А., Кузнецов Д.В., Синицин Д.А., Кильдибаев Р.С., Вахитов Р.Р., Самойлов А.А. Деформативность штукатурных составов в современных теплоэффективных наружных стенах зданий

Примечание: знаком “>” помечены результаты на стальных балочках с низким пределом текучести 230 МПа; так как испытание проводилось на стальных балочках с пределом текучести 230 МПа (образцы №1–8), то значения предельной растяжимости для штукатурных растворов Baumit StarContact, Baumit Artoplast составили  $>92,0 \cdot 10^{-5}$  (согласно методике, нагружение образца находится в пределах 0,8–0,9 от уровня нагрузки, соответствующей пределу упруго-пластичного состояния стальной балочки). Образцы 9–10 испытывались на более прочных стальных балочках с маркой стали С440.

### Заклучение

1. В статье обозначены проблемы обеспечения долговечности теплоэффективных наружных стен с применением защитно-декоративных штукатурных систем. Рассмотрены факторы, влияющие на стойкость фасадных штукатурок в процессе эксплуатации к воздействию внешних условий. Выявлены недостатки в предоставлении необходимых характеристик о качестве материала производителями штукатурных смесей.
2. Проведен мониторинг существующих способов определения условной деформативности цементных бетонов на растяжение. Показано, что эти способы имеют ряд недостатков, из-за чего не могут быть использованы для испытания штукатурных систем.
3. Предложена авторская методика определения предельной растяжимости штукатурных составов, исключающая необходимость применения средств тензометрии и позволяющая проводить испытания на слоях штукатурки с ее характерно малой толщиной – от нескольких миллиметров до 2–3 см.
4. Проведена апробация разработанного авторами способа. В статье представлены результаты испытаний различных штукатурных составов, подтверждающие эффективность предлагаемой методики.

Таким образом, предлагаемый способ может использоваться как при оценке предельной растяжимости штукатурных составов, так и в исследованиях по оптимизации составов штукатурок с целью повышения их трещиностойкости. Кроме того, этот способ может дополнить комплекс испытаний всех элементов защитно-декоративных систем при техническом освидетельствовании систем утепления наружных стен зданий.

### Литература

1. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: НИИСФ РААСН, 2003. 332 с.
2. 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. с.4.
3. Бутовский И.Н., Матросов А.Ю. Теплозащита зданий: Обзорный доклад о мировом уровне и тенденциях развития строительной науки и техники. М.: ВНИИТПИ, 1990. 48 с.
4. Савин В.К. Долговечность и эффективность зданий // Стены и фасады. 2004. №3–4. С. 21–26.
5. Бабков В.В., Колесник Г.С., Гайсин А.М. и др. Несущие наружные трёхслойные стены зданий с повышенной теплозащитой // Строительные материалы. 1998. №6. С. 16–18.
6. Бедов А.И., Бабков В.В., Гайсин А.М., Габитов А.И. Опыт эксплуатации жилых и гражданских зданий с теплоэффективными наружными стенами в климатических условиях Республики Башкортостан // Вестник МГСУ. 2011. Т. 1. №2. С. 89–94.
7. Граник Ю.Г. Теплоэффективные ограждающие конструкции жилых и гражданских зданий // Строительные материалы. 1999. №2. С. 4–6.
8. Зубарев В.В. Системы наружного утепления зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2003. №4. С. 24–25.
9. Резниченко Ю.Ю. Наружная теплоизоляция фасадов с применением пенополистирола и тонкослойных штукатурок «Синтеко» и «Драйвит» // Строительные материалы. 2003. №3. С. 13.

Бабков В.В., Резвов О.А., Гафурова Э.А., Кузнецов Д.В., Синицин Д.А., Кильдибаев Р.С., Вахитов Р.Р., Самойлов А.А. Деформативность штукатурных составов в современных теплоэффективных наружных стенах зданий

10. Ватин Н.И., Глумов А.В., Горшков А.С. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2011. №1. с. 28.
11. Бабков В.В., Резвов О.А., Кузнецов Д.В., Гайсин А.М., Самофеев Н.С., Морозова Е.В. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты стен от увлажнения // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 28-31.
12. Василик П.Г., Голубев И.В. Трещины в штукатурках // Строительные материалы. 2003. №4. С. 14-16.
13. Калинин А.В., Барабанов А.Н. Наружные штукатурные системы утепления фасадов // Строительные материалы. 2009. №6. С. 28–31.
14. Парута В.А., Саевский А.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В. // Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 30–36.
15. Лутц Г. Системы наружной теплоизоляции с сухими смесями // Строительные материалы. 1999. №3. С. 36–38.
16. Стольников В.В., Литвинова Р.Е. Трещиностойкость бетона. М.: Энергия, 1972. С. 57–59.
17. Силаенков Е.С., Сальникова М.Е. Методика определения долговечности системы утепления наружных стен с эффективным утеплителем // Строительные материалы. 2001. №1. С. 15–17.
18. Системы утепления и отделки фасадов // Застройщик. 2003. №5. С. 10–14.
19. Сокова С.Д., Штейман Б.И. Об утеплении наружных стен // Жилищное строительство. 2002. №11. С. 12–15.
20. Qiang Li, Fujian Ni, Zaixin Li. Experimental Tests and Finite Element Modeling of Shrinkage Behavior in Cement Stabilized Aggregate Base // Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management. Ninth International Conference Chinese Transportation Professionals. 2009, Harbin. China. Pp. 2754–2760.
21. Meschke G., Grasberger S. Numerical Modeling of Coupled Hygromechanical Degradation of Cementitious Materials // Journal of Engineering Mechanics. 2003. No.129(4). Pp. 383–392.
22. Bochen J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 7. Pp. 2559–2566.
23. Langmans J., Klein R., Roels S. Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 56. Pp. 192-202.
24. Tittarelli F., Moriconi G., Bonazza A. Atmospheric deterioration of cement plaster in a building exposed to a urban environment // Journal of Cultural Heritage. 2008. Vol. 9. Issue 2. Pp. 203–206.
25. Groot C., Van Hees R., Wijffels T. Selection of plasters and renders for salt laden masonry substrates // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 5. Pp. 1743–1750.

*\* Олег Александрович Резвов, г. Уфа, Россия*

*Тел. моб.: +7(927)637-45-77; эл. почта: ufaoleg@bk.ru*

© Бабков В.В., Резвов О.А., Гафурова Э.А., Кузнецов Д.В., Синицин Д.А., Кильдибаев Р.С., Вахитов Р.Р., Самойлов А.А., 2013

doi: 10.5862/MCE.38.8

## Deformability of plastering compositions in design solutions of modern thermal protective exterior walls

V.V. Babkov;  
O.A. Rezvov;  
E.A. Gafurova;  
D.V. Kuznetsov;  
D.A. Sinitsin;  
R.S. Kildibaev;  
R.R. Vakhitov,  
A.A. Samoilov,

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Baumit Ltd., Saint-Petersburg, Russia  
+7(927)637-45-77; e-mail: ufaoleg@bk.ru

### Key words

thermal efficiency of the exterior walls of buildings; facade plaster system; deformability of plastering compositions

### Abstract

In recent years, appearance of new constructive decisions for multilayer thermal efficient walls in the practice of design and construction caused the increasing use of protective and decorative plaster compositions. Comprehensive protective plaster systems nowadays are used in the facade insulation systems as a protective layer on the surface of polystyrene foam or mineral wool boards, forming the insulating layer to the outer walls of concrete blocks. They are also used for exterior finish of walls made of gas-concrete blocks, plastering the brickwork of the buildings operated by rehabilitation, in particular, apartment houses of old mass series.

The problem of ensuring durability of thermal efficient external walls with the use of protective and decorative plaster systems were identified in this article. The factors, affecting the resistance of facade plasters to the action of external conditions in operating process were considered. The weaknesses in the necessary characteristics of plaster mixtures provided by material manufacturers are revealed. The existing methods for determining crack resistance of plaster compositions are monitored.

The author's method of determining the maximum stretch of plaster compositions is given. The article presents tests results of various plaster compositions, confirming the effectiveness of the proposed method.

### References

1. Aleksandrovskiy S.V. *Dolgovechnost naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy* [Durability of outdoor walling]. Moscow: NIISF RAASN, 2003. 332 p. (rus)
2. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.8(34). p. 4. (rus)
3. Butovskiy I.N., Matrosov A.IU. *Teplozashchita zdaniy: Obzornyy doklad o mirovom urovne i tendentsiyakh razvitiya stroitelnoy nauki i tekhniki* [Thermal protection of buildings: summarizing report about world level and trends of building science and engineering advancement]. Moscow: VNIINTPI, 1990. 48 p. (rus)
4. Savin V.K. *Walls & Facades*. 2004. No.3–4. Pp. 21–26. (rus)
5. Babkov V.V., Kolesnik G.S., Gaysin A.M. [et al.] *Construction materials*. 1998. No.6. Pp. 16–18. (rus)
6. Bedov A.I., Babkov B.B., Gaysin A.M., Gabitov A.I. *Vestnik MGSU*. 2011. Vol. 1. No.2. Pp. 89–94. (rus)
7. Granik Yu.G. *Construction materials*. 1999. No.2. Pp. 4–6. (rus)
8. Zubarev V.V. *Construction materials, the equipment, technologies of XXI century*. 2003. No.4. Pp. 24–25. (rus)
9. Reznichenko Yu.Yu. *Construction materials*. 2003. No.3. P. 13. (rus)
10. Vatin N.I., Glumov A.V., Gorshkov A.S. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.1 p. 28. (rus)

Babkov V.V., Rezvov O.A., Gafurova E.A., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A., Kildibaev R.S., Vakhitov R.R., Samoilov A.A. Deformability of plastering compositions in design solutions of modern thermal protective exterior walls

11. Rezvov O.A., Babkov V.V., Kuznetsov D.V., Gaysin A.M., Samofeev N.S., Morozova E.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.8. P. 28–31. (rus)
12. Vasilik P.G., Golubev I.V. *Construction materials*. 2003. No.4. Pp. 14–16. (rus)
13. Kalinin A.V., Barabanov A.N. *Construction materials*. 2009. No.6. Pp. 28–31. (rus)
14. Paruta V.A., Sayevskiy A.A., Semina I.U.A., Stolyar E.A., Ustenko A.V., Brynzin E.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.8. Pp. 30–36. (rus)
15. Lutts G. *Construction materials*. 1999. No.3. Pp. 36–38.
16. Stolnikov V.V., Litvinova R.E. *Treshchinostoikost betona* [Crack resistance of concrete]. Moscow: Energiya, 1972. Pp. 57–59. (rus)
17. Silayenkov E.S., Salnikova M.E. *Construction materials*. 2001. No.1. Pp. 15–17. (rus)
18. *Zastroyschik*. 2003. No.5. Pp. 10–134. (rus)
19. Sokova S.D., Shteyman B.I. *Housing Construction*. 2002. No.11. Pp. 12–15. (rus)
20. Qiang Li, Fujian Ni, Zaixin Li. Experimental Tests and Finite Element Modeling of Shrinkage Behavior in Cement Stabilized Aggregate Base. *Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management. Ninth International Conference Chinese Transportation Professionals*. 2009, Harbin. China. Pp. 2754–2760.
21. Meschke G., Grasberger S. Numerical Modeling of Coupled Hygromechanical Degradation of Cementitious Materials. *Journal of Engineering Mechanics*. 2003. No.129(4). Pp. 383–392.
22. Bochen J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23. Issue 7. Pp. 2559–2566.
23. Langmans J., Klein R., Roels S. Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation. *Building and Environment*. 2012. Vol. 56. Pp. 192–202.
24. Tittarelli F., Moriconi G., Bonazza A. Atmospheric deterioration of cement plaster in a building exposed to a urban environment. *Journal of Cultural Heritage*. 2008. Vol. 9. Issue 2. Pp. 203–206.
25. Groot C., Van Hees R., Wijffels T. Selection of plasters and renders for salt laden masonry substrates. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23. Pp. 1743–1750.

**Full text of this article in Russian: pp. 59–64**