



## ЗАСТОСУВАННЯ ПЛИТ З ПІНОСКЛОКЕРАМІКИ В ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ БУДІВЕЛЬ

**В. І. Логаніна, О. В. Карпова**

*ФДБОУ ВПО «Пензенський державний університет архітектури та будівництва»,  
вулиця Германа Титова, б. 28, м. Пенза, Росія, 440028.*

*E-mail: loganin@mail.ru*

*Отримана 20 березня 2012; прийнята 25 травня 2012.*

**Анотація.** У статті наведені результати теплотехнічного розрахунку огороджувальних конструкцій будівель при використанні як теплоізоляційний шар плит з піносклокераміки, виготовлених на основі опалкристиобалітових порід. Розрахунок проводився з урахуванням коефіцієнта теплотехнічної однорідності. Наведено значення фізико-механічних властивостей піносклокерамічних плит. Показана конкурентоспроможність плит з піносклокераміки в порівнянні з кращими зарубіжними аналогами. Визначено можливість конденсації водяної пари в товщі огороджувальної конструкції залежно від конструктивного рішення зовнішньої стіни. Показана необхідність врахування конструктивних рішень огороджувальних конструкцій при виборі товщини плити з піносклокераміки. Дано рекомендації щодо застосування плит з піносклокераміки для різних кліматичних районів. Показана ефективність застосування піносклокераміки в огороджувальних конструкціях будівель як теплоізоляційний шар.

**Ключові слова:** захисна конструкція, теплоізоляційний шар, теплотехнічний розрахунок, піносклокераміка, діатоміт.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИТ ИЗ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ

**В. И. Логанина, О. В. Карпова**

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,  
ул. Германа Титова, д. 28, г. Пенза, Россия, 440028.*

*E-mail: loganin@mail.ru*

*Получена 20 марта 2012; принята 25 мая 2012.*

**Аннотация.** В статье приведены результаты теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий при использовании в качестве теплоизоляционного слоя плит из пеностеклокерамики, изготовленных на основе опалкристиобалитовых пород. Расчет проводился с учетом коэффициента теплотехнической однородности. Приведены значения физико-механических свойств пеностеклокерамических плит. Показана конкурентоспособность плит из пеностеклокерамики по сравнению с лучшими зарубежными аналогами. Определена возможность конденсации водяного пара в толще ограждающей конструкции в зависимости от конструктивного решения наружной стены. Показана необходимость учета конструктивных решений ограждающих конструкций при выборе толщины плиты из пеностеклокерамики. Даны рекомендации по применению плит из пеностеклокерамики для различных климатических районов. Показана эффективность применения пеностеклокерамики в ограждающих конструкциях зданий в качестве теплоизоляционного слоя.

**Ключевые слова:** ограждающая конструкция, теплоизоляционный слой, теплотехнический расчет, пеностеклокерамика, диатомит.

## THE USE OF SLABS OF FOAM-GLASS CERAMICS WALLING OF BUILDINGS

Loganina Valentina, Olga Karpova

FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction»,

28, German Titov Str., Penza, Russia, 440028.

E-mail: loganin@mail.ru

Received 20 March 2012; accepted 20 May 2012.

**Abstract.** The results of the calculation of heating of building envelopes for use as a thermal insulation layer slabs of foam glass ceramics. Computation is performed taking into account factor of heat engineering similarity. Unit values of mechanical and physical properties of foam glass ceramic slab materials have been given. Competitive abilities of foam glass ceramic slab materials by contrast to best foreign analogies have been demonstrated. Possibility of steam condensation in rock mass of filler structure depending on structural concept of outer wall has been determined. Necessity of recordkeeping of structural concepts of filler structures in the process of decision of foam glass ceramic slab thickness has been demonstrated. Recommendations for use of foam glass ceramic slabs for different climatic regions have been given. Efficiency factors of foam glass ceramic use into filler structures of buildings as heat-insulating layer has been demonstrated.

**Keywords:** cladding, insulating layer, heat engineering calculations, foam-glass ceramics, diatomite.

### Введение

Одним из эффективных путей решения проблемы энергосбережения является сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений, промышленного оборудования, тепловых сетей. В настоящее время основными теплоизоляционными материалами являются минераловатные и пенопластовые изделия, доля которых в общем объеме производства составляет более 85%. Однако в связи с существенными недостатками таких материалов (низкая долговечность, токсичность, горючесть) актуальным является разработка технологии эффективных теплоизоляционных материалов, лишенных указанных недостатков.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что в последнее время вырос интерес к использованию диатомита как сырью для производства теплоизоляционных строительных материалов, наполнителей для сухих строительных смесей, адсорбентов, фильтров и т. д. В настоящее время выполняется госконтракт с Министерством образования и науки РФ № 13.G25.31.0092 «Создание высокотехнологичного производства по выпуску пеностеклокерамики на основе опалкристобалитовых пород» путем кооперации ведущего производственного предприятия в области использования опалкристобалитовых пород ООО «Диатомовый комбинат» и ФГБОУ ВПО

«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», что позволит реализовать технологию по выпуску пеностеклокерамики и приведет к появлению нового поколения теплоизоляционно-конструкционных материалов. Обладая высокими теплофизическими и эксплуатационными параметрами, сопоставимыми с лучшими зарубежными аналогами, а по ряду показателей и превосходящих их, пеностеклокерамические изделия имеют более низкую стоимость.

### Основная часть

Исследовалась возможность применения плит из пеностеклокерамики в ограждающих конструкциях зданий в различных климатических районах. Плиты из пеностеклокерамики имеют следующие характеристики [11]:

- 120–400 кг/м<sup>3</sup> – плотность;
- 0,6–2,5 МПа – предел прочности при сжатии;
- 0,04–0,09 Вт/(м·°С) – коэффициент теплопроводности;
- 0,01–0,03 мг/(м·ч·Па) – коэффициент паропроницаемости;

Были рассмотрены два традиционно применяемых в строительстве варианта решения стен зданий (рис. 1) [12]. Параметры воздуха внутри помещений принимались из условий обеспечения комфорта [4, 5, 6].

Были определены условия эксплуатации ограждающих конструкций для городов, находящихся в различных климатических условиях и зонах влажности: г. Архангельск, г. Краснодар, г. Новосибирск, г. Магадан, г. Пенза [2].

Наружные ограждающие конструкции должны удовлетворять условию [1, 3]

$$R_o \geq R_{reg}, \quad (1)$$

где  $R_{reg}$  – нормируемое сопротивление теплопередаче,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $R_o$  – сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , вычисляемое по формуле

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}}. \quad (2)$$

Были определены величины  $R_{reg}$  для выбранных городов [1]:

г. Архангельск –  $R_{reg} = 3,56 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;

г. Краснодар –  $R_{reg} = 2,34 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;

г. Новосибирск –  $R_{reg} = 3,71 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;

г. Магадан –  $R_{reg} = 4,13 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;

г. Пенза –  $R_{reg} = 3,175 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ .

СП 23-101 и СНиП 23-02 рекомендуют использовать в расчетах приведенное сопротивление

теплопередаче  $R_o^r = R_o \cdot r$  для наружных стен фасада здания либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов и проемов. Поэтому вводится коэффициент теплотехнической однородности  $r$ , величина которого для стен жилых зданий из кирпича должна быть не менее 0,74 при толщине стены 510 мм. Были определены значения  $R_o^r$  для двух вариантов конструктивного решения ограждающих конструкций.

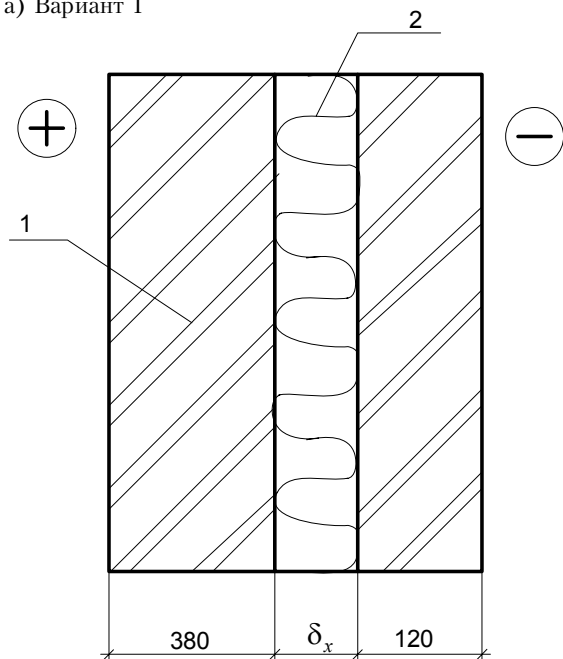
Выполнение условия  $R_o^r \geq R_{reg}$  обеспечивает ограничение температуры и недопущение конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Толщина утеплителя с учетом коэффициента теплотехнической однородности определялась для принятых городов и в соответствии с принятым конструктивным решением стены по формуле

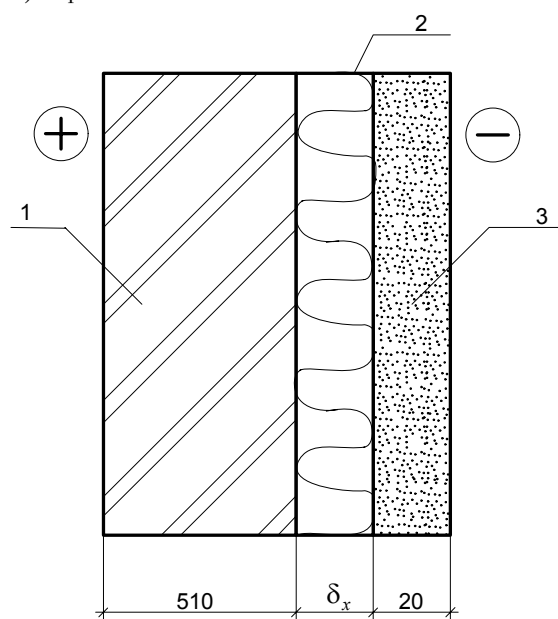
$$\delta_{ym} = \left( \frac{R_{reg}}{r} - \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \right) \lambda_{ym}, \quad (3)$$

где  $\delta_i, \lambda_i$  – толщина и коэффициент теплопроводности слоев ограждающей конструкции соответственно, исключая слой утеплителя, м;  $\delta_{yt}, \lambda_{yt}$  – толщина и коэффициент теплопроводности утеплителя, м.

а) Вариант I



б) Вариант II



**Рисунок 1.** Варианты конструктивного решения наружной стены: 1 – кирпичная кладка из сплошного кирпича силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе,  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – пеностеклокерамика, используемая в качестве утеплителя,  $\rho = 400 - 120 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – раствор цементно-песчаный (многослойная штукатурка),  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ .

Для г. Пензы толщина плит из пеностеклокерамики равна 0,16 м. Проверено выполнение условий (1) и (4)

$$\Delta t_o = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_o \lambda_{\text{int}}} < 4^\circ \text{C} = \Delta t_n, \quad (4)$$

где  $\delta$ ,  $\lambda_i$  – толщина и коэффициент теплопроводности слоев ограждающей конструкции соответственно, исключая слой утеплителя, м;  $\delta_{\text{ут}}$ ,  $\lambda_{\text{ут}}$  – толщина и коэффициент теплопроводности утеплителя, м.

Увеличение толщины кирпичной кладки до 640 мм для второго варианта конструктивного решения стены в климатических районах с  $R_{\text{рег}} \geq 3,17 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  при сохранении толщины утеплителя не приводит к каким-либо положительным изменениям.

Было установлено, что рекомендовать плиты из пеностеклокерамики в качестве утеплителя для всех климатических районов страны можно только при индивидуальном подходе к выбору конструктивного решения ограждающих конструкций (материала слоев и их толщин) с учетом сложившихся особенностей применения конструктивных решений ограждающих конструкций для различных регионов. Например, для северных районов России характерно, в том числе, панельное домостроение. Поэтому дополнительно была рассмотрена трехслойная железобетонная панель на гибких связях с утеплителем (коэффициент теплотехнической однородности  $r = 0,7$ ) (рис. 2).

Толщина утеплителя для данной конструкции при строительстве в г. Архангельске составляет 0,25 м, при общей толщине панели 450 мм. Проверка показала, что условия (1) и (4) в этом случае выполняются. Так как для г. Новосибирска и Магадана значение  $R_{\text{рег}}$  больше, чем для г. Архангельска, то толщина утеплителя трехслойной железобетонной стеновой панели будет больше, что приведет к увеличению толщины самой панели, а это нецелесообразно. В этом случае рекомендуется применять другие конструктивные решения или материалы.

Однако возможны случаи, когда подобранная толщина утеплителя с соответствующим конструктивным решением стены удовлетворяет условиям (1) и (4), а конденсация водяного пара в толще ограждения может происходить в определенных условиях эксплуатации [7, 8, 9, 10]. Поэтому была проверена возможность образования

конденсата в толще стены при использовании пеностеклокерамики в качестве утеплителя в стационарных условиях диффузии водяного пара [4].

Определяли сопротивление паропрооницанию ( $R_{\text{vp}}$ ) рассматриваемых ограждающих конструкций по формуле

$$R_{\text{vp}} = R_{\text{en}} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{\text{nn}}, \quad (5)$$

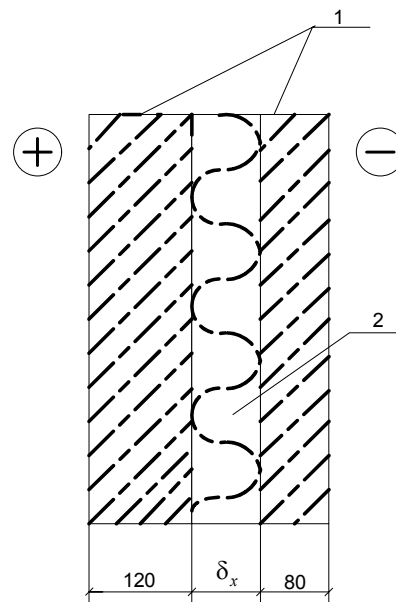
где  $R_{\text{a.n.}}$  – сопротивление влагообмену у внутренней поверхности ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ , ( $R_{\text{a.n.}} = 0,027 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ );

$\delta_i$  – толщина  $i$ -того слоя ограждающей конструкции, м;

$\mu_i$  – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции,  $\text{м}^2/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ , принимаемый по [3];

$R_{\text{n.n.}}$  – сопротивление влагообмену у наружной поверхности ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ , ( $R_{\text{n.n.}} = 0,013 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ ).

Для определения температуры  $\tau$ , максимального парциального давления водяного пара  $E_i$  и действительного парциального давления  $e_i$  водяного пара на границах слоев конструкции стены была разработана компьютерная программа с помощью средств Visual Basic 6.0. Данные расчета сведены в таблице.



**Рисунок 2.** III вариант конструктивного решения наружной стены: 1 – железобетонная панель толщиной 0,12 м; 2 – пеностеклокерамика, используемая в качестве утеплителя,  $\rho = 400 - 120 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; 3 – железобетонная панель толщиной 0,80 м.

Таблица. К выбору конструктивного решения ограждающей конструкции

Район строительства	Конструктивное решение стены	Толщина утеплителя, м	Возможность конденсации водяного пара в толще ограждающей конструкции
г. Пенза	II вариант	0,16	конденсация отсутствует
	I вариант		конденсация возможна
г. Архангельск	III вариант	0,25	конденсация возможна
г. Краснодар	I вариант	0,13	конденсация отсутствует
	II вариант		конденсация отсутствует

При сравнении величин максимального парциального давления  $E_i$  водяного пара и величин действительного парциального давления  $e_i$  водяного пара на соответствующих границах слоев для второго варианта конструкции кирпичной стены для г. Пензы установлено, что все величины  $e_i$  меньше величин  $E_i$ , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Для первого варианта конструктивного решения стены возможна конденсация влаги в зимний период на границе слоев «утеплитель – наружный слой кирпичной кладки». Установлено, что отсутствие конденсата возможно лишь при толщине утеплителя 0,75 м, что является экономически и технологически нецелесообразным. Поэтому вариант стены с наружным утеплением будет более предпочтительным при прочих равных

условиях. Для г. Краснодара (толщина утеплителя 0,13 м) оба варианта конструктивного решения стены могут быть применимы, а для г. Архангельска конденсация влаги возможна уже в толще утеплителя, что делает нецелесообразным его применение в этом районе строительства.

### Заключение

Установлена эффективность применения пеностеклокерамики в ограждающих конструкциях зданий в качестве теплоизоляционного слоя. Показана необходимость учета конструктивных решений ограждающих конструкций при выборе толщины плиты из пеностеклокерамики.

*Работа выполнялась в рамках госконтракта с Министерством образования и науки РФ № 13.G25.31.0092.*

### Литература

1. СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. – Взамен СНИП II-3-79\*; введ. 2003-10-01. – М.: Госстрой России, 2004. – 26 с.
2. СНИП 23-01-99. Строительная климатология [Текст]. – Взамен СНИП 2.01.01-82; введ. 2000-01-01. – М.: Госстрой России, 2000. – 67 с.
3. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. – Взамен СП 23-101-2000; введ. 2004-06-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 139 с.
4. СНИП 31-05-2003. Общественные здания административного назначения [Текст]. – Введ. 2003-09-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 23 с.
5. СНИП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]. – Взамен СНИП 2.04.05-91; введ. 2004-01-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 55 с.
6. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении. – Введен впервые; введ. 1999-03-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 14 с.
7. Фокин, Г. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / Г. Ф. Фокин; Под

### References

1. SNiP 23-02-2003. Thermal Performance of the Buildings. Moscow: Russian State Committee for Construction, 2004. 26 p. (in Russian)
2. SNiP 23-01-99. Building Climatology. Moscow: Russian State Committee for Construction, 2000. 67 p. (in Russian)
3. SP 23-101-2004. Thermal Performance Design of Buildings. Moscow: FGUP TsPP, 2004. 139 p. (in Russian)
4. SNiP 31-05-2003. Public office buildings. Moscow: FGUP TsPP, 2004. 23 p. (in Russian)
5. SNiP 41-01-2003. Heating, ventilation and conditioning. Moscow: FGUP TsPP, 2004. 55 p. (in Russian)
6. GOST 30494-96. Residential and public buildings. Microclimate parameters for indoor enclosures. Moscow: Russian State Committee for Construction, GUP TsPP, 1999. 14 p. (in Russian)
7. Fokin, G. F. Building heat engineering non-load-bearing building elements. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (in Russian)
8. Liashkov, V. I. Theoretical bases of heat engineering. Moscow: High school, 2008. 318 p. (in Russian)

- ред Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
8. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Ляшков. – М. : Высш. шк., 2008. – 318 с. : ил. – ISBN 978-5-06-005729-4.
  9. Соловьев, А. К. Физика среды [Текст] : учебник для вузов / А. К. Соловьев ; [рец.: В. Н. Куприянов]. – М. : Изд-во АСВ, 2011. – 341 с. – ISBN 978-5-93093-629-2.
  10. Глущенко, Л. Ф. Теплотехника в строительстве и строительном производстве [Текст] : учеб. пособие / Л. Ф. Глущенко, А. С. Маторин, Н. Ф. Лицкий ; общ. ред. Л. Ф. Глущенко. – К. : Выща шк., 1991. – 295 с. : ил. – ISBN 5-11-002403-0.
  11. Скачков, Ю. П. Вертикальные ограждающие конструкции зданий с пеностеклокерамикой [Текст] / Ю. П. Скачков, В. И. Логанина, О. В. Карпова // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 1(10). – С. 23–27.
  12. Карпова, О. В. К вопросу выбора конструктивно-го решения ограждающей конструкции [Текст] / О. В. Карпова, Т. Г. Тулякова, Ю. Д. Бегутова // Актуальные проблемы современного строительства : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2011. – С. 27–31.
  9. Solovev, A. K. Physics of environment. Moscow: ASB, 2011. 341 p. (in Russian)
  10. Glushchenko, L. F. (Ed.); Matorin, A. S.; Lisitskii, N. F. Heat engineering in building and construction operations. Kyiv: High School, 1991. 295 p. (in Russian)
  11. Skachkov, Yu. P.; Loganina, V. I.; Karpova, O. V. Vertical non-load bearing building structure with foam glass ceramics. In: Regional architecture and civil engineering, 2011, No. 1(10), p. 23–27. (in Russian)
  12. Karpova, O. V.; Tuliakova, T. G.; Begutova, Yu. D. On the question of decision of structural concept of non-load bearing constructions. In: *Collected works of international research and practice conference, «Current problems of modern building»*, Knowledge house, 2011, p. 27–31. (in Russian)

**Логанина Валентина Іванівна** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри стандартизації, сертифікації та аудиту якості ФДБОУ ВПО «Пензенський державний університет архітектури та будівництва»; почесний працівник науки і техніки РФ, заслужений винахідник. Наукові інтереси: розробка складів оздоблювальних матеріалів та прогнозування їх стійкості, управління якістю продукції.

**Карпова Ольга Вікторівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри стандартизації, сертифікації та аудиту якості ФДБОУ ВПО «Пензенський державний університет архітектури та будівництва»; почесний працівник Міністерства освіти РФ. Наукові інтереси: розробка складів оздоблювальних матеріалів та прогнозування їх стійкості, управління якістю продукції.

**Логанина Валентина Ивановна** – доктор технических наук, профессор; заведующая кафедрой стандартизации, сертификации и аудита качества ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»; почетный работник науки и техники РФ, заслуженный изобретатель. Научные интересы: разработка составов отделочных материалов и прогнозирование их стойкости, управление качеством продукции.

**Карпова Ольга Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и аудита качества ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»; почетный работник Министерства образования РФ. Научные интересы: разработка составов отделочных материалов и прогнозирование их стойкости, управление качеством продукции.

**Valentina Loganina** – DSc (Eng), professor; Head of Department of Standardization, Certification and Audit Quality, FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction»; honored worker of science of RF, Honored Inventor. Research interests include the development of formulations of finishing materials and prediction of their stability, product quality control.

**Olga Karpova** – PhD (Eng), associate professor; Department of Standardization, Certification and Audit Quality, FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction»; honored worker of the Ministry of Education. Research interests include the development of formulations of finishing materials and prediction of their stability, product quality control.