

УДК 699.86

**Н. Н. Шангина<sup>а</sup>, А. М. Харитонов<sup>б</sup>, С. В. Корниенко<sup>в</sup>, В. Я. Ольшевский<sup>г</sup>,  
С. Н. Фомин<sup>д</sup>, А. С. Горшков<sup>е</sup>**

<sup>а</sup> *Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I*

<sup>б</sup> *Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>в</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>г</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

<sup>д</sup> *ООО «АЖИО»*

<sup>е</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ТЕПЛОВЛАГОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНОГО И ИЗВЕСТКОВОГО ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ**

На основании лабораторных испытаний получены коэффициенты теплотехнического качества цементной штукатурки — 0,05 на 1%, известковой — 0,03 на 1%. Сравнительный анализ комплекса тепловлагофизических свойств цементного и известкового штукатурных растворов позволил установить закономерность влияния влажности на теплопроводность указанных материалов. Сравнительно меньшее значение коэффициента теплотехнического качества известковой штукатурки обусловлено более низким приращением теплопроводности от влажности. Полученные результаты подтверждают необходимость внедрения в практику штукатурных растворов с повышенными тепловлагофизическими свойствами и повышают точность теплотехнических расчетов.

**Ключевые слова:** фасады, штукатурное покрытие, известковая штукатурка, влажность, теплопроводность, коэффициент теплотехнического качества.

### **Введение**

Известно, что влажность существенно влияет на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций [1—5]. Теплопроводность воды примерно в 25 раз больше теплопроводности воздуха, поэтому при замещении в порах материала воздуха влагой возрастает теплопроводность увлажненного пористого материала, что приводит к ухудшению его теплофизических свойств. При размещении влажного слоя в области отрицательных температур криофаза влаги может приводить к разрушению материала, что негативно отражается на его эксплуатационных характеристиках и снижает долговечность конструкций [6—10]. Высокая паропроницаемость известковых составов способствует улучшению микроклимата отделанных ими помещений [6]. Известковые растворы могут поглощать избыточную влагу из воздуха и отдавать ее в помещение при снижении относительной влажности внутреннего воздуха.

На влажностный режим наружных стен существенное влияние оказывает паропроницаемость отделочного покрытия [11—15]. Чем ниже паропроницаемость, тем выше, при прочих равных условиях, влажность слоя, расположенного перед отделкой, например, теплоизоляции или каменной кладки. Если таким граничным слоем окажется теплоизоляция, это приведет к ее увлажнению и постепенной деградации. Замена известковых растворов на цементные при реставрации объектов культурного наследия может нарушить

процессы миграции влаги через ограждающие конструкции и вызвать негативные проявления в виде морозного разрушения и отслоения отделочных покрытий [6].

Тепловолагофизические свойства (ТВФС) штукатурных покрытий достаточно хорошо изучены. В [16] на основе сравнения гигротермических характеристик известковой и цементной штукатурок раскрыта способность известкового штукатурного покрытия стен регулировать относительную влажность в помещении. Гигротермическое моделирование [17] продемонстрировало значительное влияние штукатурных покрытий на тепловлажностное состояние ограждающих конструкций. В [18] подтверждена линейная зависимость теплопроводности от влажности для теплозащитных штукатурок, что указывает на необходимость недопущения их переувлажнения в процессе эксплуатации. В [19] показано, что растительные добавки в известковые растворы повышают гигроскопичность и воздухопроницаемость материалов. Включение в состав штукатурных слоев материалов с фазовым переходом позволяет сократить мощность отопительного и охлаждающего оборудования, используя преимущественно солнечную энергию [20].

Актуальность данного исследования обусловлена отсутствием комплекса ТВФС цементного и известкового штукатурных растворов. Такие данные для указанных типов растворов в нормативной литературе не представлены. Это затрудняет внедрение в практику штукатурных растворов с повышенными ТВФС и снижает точность проводимых теплотехнических расчетов.

*Целью* данной работы является определение и сравнительный анализ комплекса ТВФС цементного и известкового штукатурных растворов для установления закономерности влияния влажности на теплопроводность этих материалов.

#### **Методы**

Сравнительный анализ комплекса ТВФС материалов выполнен с помощью коэффициента теплотехнического качества (КТК). Согласно ГОСТ Р 59985—2022<sup>1</sup>, КТК численно равен отношению приращения теплопроводности материала на 1 % влажности к теплопроводности в сухом состоянии:

$$\eta = \frac{\lambda - \lambda_0}{w \cdot \lambda_0}, \quad (1)$$

где  $\eta$  — коэффициент теплотехнического качества, %<sup>-1</sup>;  $\lambda$ ,  $w$  — соответственно теплопроводность, Вт/(м·К), и влажность по массе, %, при данном состоянии;  $\lambda_0$  — теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·К).

Преимуществом КТК является то, что он включает в себя как влажность, так и теплопроводность при различном увлажнении материала, и, следовательно, имеет комплексный характер. КТК позволяет определить теплопроводность материала при эксплуатационных условиях  $\lambda_w$ , Вт/(м·К), пользуясь формулой:

<sup>1</sup> ГОСТ Р 59985—2022. Конструкции ограждающие зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200182894>.

$$\lambda_s = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_s), \quad (2)$$

где  $w_s$  — эксплуатационная влажность материала, % по массе.

В соответствии с программой лабораторных испытаний для каждого типа штукатурок (цементной и известковой) изготовлено по пять образцов размером  $250 \times 250 \times 50$  мм с целью определения их теплопроводностей в сухом состоянии, при текущей влажности и вычислении КТК по формуле (1).

Измерение теплопроводности выполнено при стационарном тепловом режиме по ГОСТ 7076—99<sup>2</sup> на приборе ПИТ-2.1 (рис. 1).

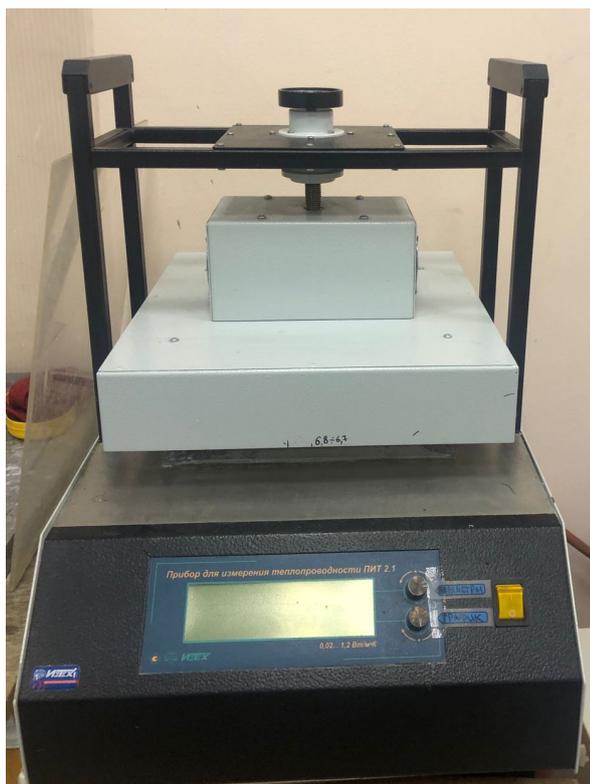


Рис. 1. Измерения теплопроводности известковой и цементной штукатурок на приборе ПИТ-2.1

Прибор ПИТ-2.1 предназначен для измерения теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 1,2 Вт/(м·К), предел допустимой относительной погрешности 3 %.

Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца, измерении мощности, необходимой для создания этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Теплопроводность образца определяется по формуле:

<sup>2</sup> ГОСТ 7076—99. Межгосударственный стандарт. Материалы и изделия строительные.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005006?ysclid=mb9ojk0md760716277>.

$$\lambda = \frac{Ph}{S\Delta T}, \quad (3)$$

где  $P$  — мощность, необходимая для создания теплового потока, Вт;  $h$  — высота образца, м;  $S$  — площадь измерительного нагревателя, м<sup>2</sup>;  $\Delta T$  — заданная разность температур, К.

Управление прибором осуществляется с помощью четырехканального прецизионного измерителя и регулятора температуры.

### Результаты

Результаты испытаний различных типов штукатурки на теплопроводность в сухом состоянии и при влажности по массе 3,7 % представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний двух типов штукатурки на теплопроводность

Тип штукатурки	Теплопроводность, Вт/(м·К), при влажности по массе, %	
	0	3,7
Цементная	0,395	0,470
Известковая	0,346	0,380

Зависимость теплопроводности цементной штукатурки от влажности представлена на рис. 2, известкой — на рис. 3.

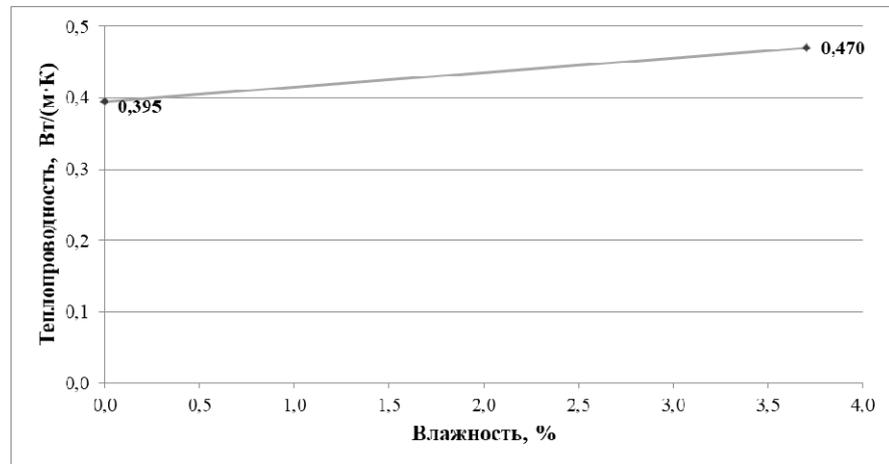


Рис. 2. Зависимость теплопроводности цементной штукатурки от влажности (результаты испытаний)

Линейные зависимости  $\lambda(w)$ , построенные по результатам испытаний, могут быть обоснованы путем рассмотрения модели влажного пористого материала.

Влажный материал неоднороден. Он состоит из различных компонентов — твердой матрицы и пор. В общем случае поры материала могут быть заполнены влажным воздухом, жидкой влагой и льдом. Теплопроводность влажного материала зависит от теплопроводности твердой матрицы, содержания влаги в различных фазах (включая пленочную влагу, обладающую

особыми свойствами), фазовых изменений, условий теплообмена с окружающей средой. Особенности пористой структуры определяют большую изменчивость ТВФС строительных материалов [5].

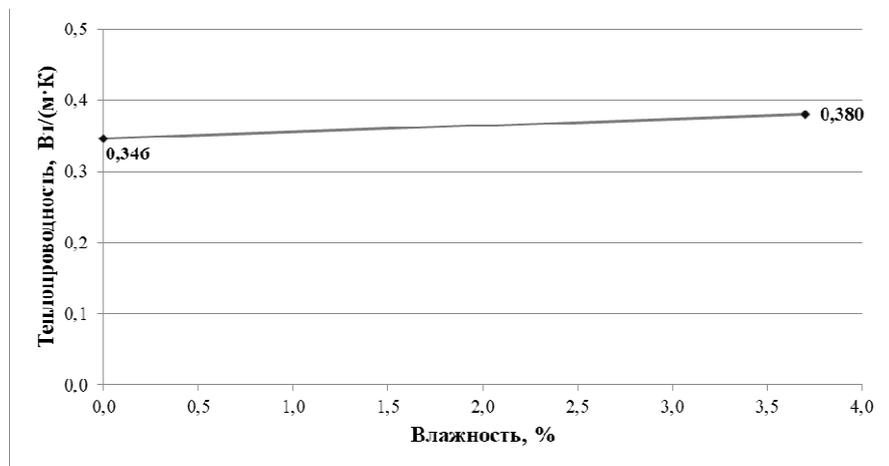


Рис. 3. Зависимость теплопроводности известковой штукатурки от влажности (результаты испытаний)

Теплопроводность рассматриваемого модельного тела можно приближенно определить по формуле [17]:

$$\lambda_{\text{экв}} = \lambda_{\text{ТВ}}(1 - P) + \lambda_{\text{воз}}(P - W) + \lambda_{\text{вод}}W, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{экв}}$  — эквивалентная теплопроводность;  $\lambda_{\text{ТВ}}$ ,  $\lambda_{\text{воз}}$ ,  $\lambda_{\text{вл}}$  — соответственно теплопроводность твердой матрицы, влажного воздуха, воды;  $P$  — пористость;  $W$  — влажность по объему.

Из формулы (4) видно, что при неизменных теплофизических свойствах твердой матрицы, воздуха и влаги зависимость теплопроводности модельного тела от влажности линейна, что указывает на правомерность построения экспериментальной зависимости по результатам испытаний образца по двум точкам — при заданной влажности и в сухом состоянии.

Результаты моделирования теплопроводности цементной штукатурки представлены в табл. 2, известковой — в табл. 3.

Таблица 2

Результаты моделирования теплопроводности цементной штукатурки

Наименование показателя	Значение показателя
Пористость $P$ (по А. У. Франчуку)	0,45
Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	1500
Теплопроводность матрицы $\lambda_{\text{ТВ}}$ , Вт/(м·К)	0,697
Теплопроводность воздуха $\lambda_{\text{воз}}$ , Вт/(м·К)	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Теплопроводность воды $\lambda_{\text{вод}}$ , Вт/(м·К)	0,597
Эквивалентная теплопроводность материала в сухом состоянии $\lambda_{\text{экв}}(0)$ , Вт/(м·К)	0,395
Эквивалентная теплопроводность материала $\lambda_{\text{экв}}(w)$ , Вт/(м·К)	0,427

Таблица 3

Результаты моделирования теплопроводности известковой штукатурки

Наименование показателя	Значение показателя
Пористость $P$ (по А. У. Француку)	0,48
Плотность материала в сухом состоянии $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	1410
Теплопроводность матрицы $\lambda_{ТВ}$ , Вт/(м·К)	0,642
Теплопроводность воздуха $\lambda_{воз}$ , Вт/(м·К)	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Теплопроводность воды $\lambda_{вод}$ , Вт/(м·К)	0,597
Эквивалентная теплопроводность материала в сухом состоянии $\lambda_{экр}(0)$ , Вт/(м·К)	0,346
Эквивалентная теплопроводность материала $\lambda_{экр}(w)$ , Вт/(м·К)	0,376

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными показано в табл. 4 и на рис. 4, 5.

Таблица 4

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными

Тип штукатурки	Влажность, %	Теплопроводность, Вт/(м·К)		Отклонение $\lambda_{экр}$ от $\lambda_{экрп}$ , %
		Эксперимент $\lambda_{экрп}$	Расчет $\lambda_{экр}$	
Цементная	0	0,395	0,395	0,00
	3,7	0,470	0,427	-9,15
Известковая	0	0,346	0,346	0,08
	3,7	0,380	0,376	-1,05

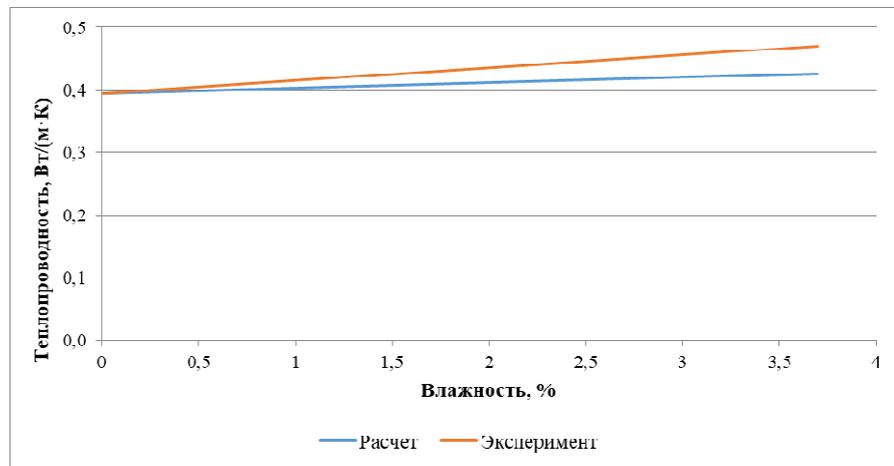


Рис. 4. Сравнение результатов расчета теплопроводности с экспериментальными данными для цементной штукатурки

Сравнение результатов расчета теплопроводности с экспериментальными данными показывает их согласованность. Максимальное отклонение  $\lambda_{экр}$  от  $\lambda_{экрп}$  отмечается для цементной штукатурки при  $W = 3,7$  %.

По результатам проведенных испытаний получены значения КТК для исследованных типов штукатурных покрытий:

цементной штукатурки — 0,05 на 1%;  
известковой штукатурки — 0,03 на 1%.

Сравнительный анализ комплекса ТВФС цементного и известкового штукатурных растворов позволил установить закономерность влияния влажности на теплопроводность указанных материалов. Меньшее значение КТК известковой штукатурки обусловлено более низким приращением теплопроводности от влажности по сравнению с цементной штукатуркой.

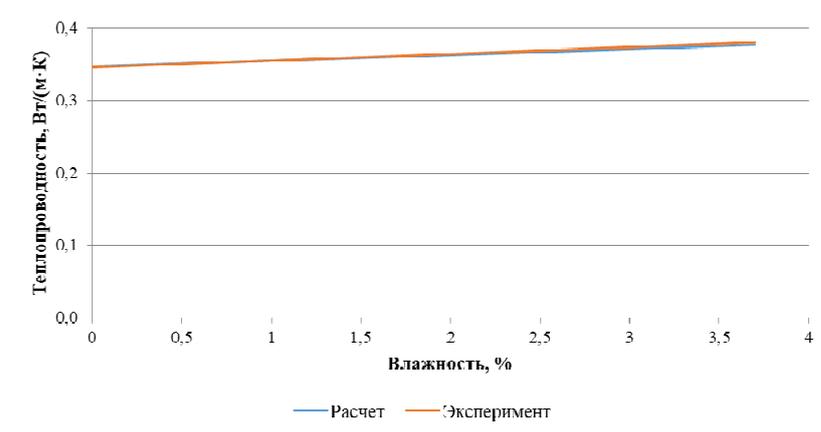


Рис. 5. Сравнение результатов расчета теплопроводности с экспериментальными данными для известковой штукатурки

## Выводы

По итогам проведенного цикла исследований сформулированы следующие выводы:

1. Актуальность данного исследования обусловлена отсутствием комплекса ТВФС цементного и известкового штукатурных растворов.

2. По результатам измерений теплопроводность известковой штукатурки в сухом состоянии составляет 0,346 Вт/(м·К), цементной — 0,395 Вт/(м·К). Теплопроводность известковой штукатурки при влажности по массе 3,7 % составляет 0,380 Вт/(м·К), цементной — 0,470 Вт/(м·К).

3. Сравнение результатов теоретического анализа теплопроводности модельных капиллярно-пористых тел с данными экспериментальных испытаний цементной и известковой штукатурок показывает их согласованность в пределах 10 %, что вполне удовлетворительно для решения практических инженерных задач.

4. На основании испытаний получены коэффициенты теплотехнического качества цементной штукатурки — 0,05 на 1%, известковой — 0,03 на 1%.

5. Сравнительный анализ комплекса ТВФС цементного и известкового штукатурных растворов позволил установить закономерность влияния влажности на теплопроводность указанных материалов. Сравнительно меньшее значение КТК известковой штукатурки обусловлено более низким приращением теплопроводности от влажности.

Полученные результаты подтверждают необходимость внедрения в практику штукатурных растворов с повышенными ТВФС и повышают точность теплотехнических расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Корниенко С. В.* Метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 2(566). С. 108—110.
2. *Litavcova E., Pavlus M., Seman J., Korjenic A.* Diffusion of moisture into building materials: A model for moisture transport. Part A // *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 68. Pp. 558—561. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.09.018.
3. *Zemitis J., Borodinecs A., Frolova M.* Measurements of moisture production caused by various sources // *Energy and Buildings*. 2016. No. 127. Pp. 884—891.
4. *Корниенко С. В.* Потенциал влажности для определения влажностного состояния материалов наружных ограждений в неизотермических условиях // *Строительные материалы*. 2006. № 4. С. 88—89.
5. *Корниенко С. В.* Теплопроводность газобетонных стен при эксплуатационных условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 152—159.
6. *Шангина Н. Н., Харитонов А. М.* Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры // *Сухие строительные смеси*. 2012. № 3. С. 35—38.
7. *Горшков А. С.* Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 12—17.
8. *Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Tarasova D.* Energy efficiency of facades at major repairs of buildings // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 633-634. Pp. 991—996. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.633-634.991.
9. *Горшков А. С.* Модель физического износа строительных конструкций // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2014. № 12(191). С. 34—37.
10. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime-metakaolin plasters for renovation of historical buildings / E. Vejmelková, M. Keppert, Z. Keršner, P. Rovnaníková, R. Cerný // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 31. Pp. 22—28.
11. *Корниенко С. В., Ватин Н. И., Горшков А. С.* Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 6(45). С. 34—54.
12. *Корниенко С. В., Горшков П. А.* Теплотехнические риски при решении задач сохранения каменных стен памятников архитектуры // *Энергосбережение*. 2024. № 3. С. 38—41.
13. *Горшков П. А., Корниенко С. В.* Влияние климата и наружной штукатурки на влажностный режим каменных стен // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 6. С. 971—981. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.971-981.
14. *Pasztory Z., Peralta P. N., Peszlen I.* Multi-layer heat insulation system for frame construction buildings // *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Iss. 2-3. Pp. 713—717. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.11.016.
15. Humidity conditions of homogeneous wall from gas-concrete blocks with finishing plaster compounds / N. Vatin, A. Gorshkov, D. Nemova, O. Gamayunova, D. Andreeva // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 670—671. Pp. 349—354. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.349.
16. *Damle R. M., Khatri N., Rawal R.* Experimental investigation on hygrothermal behaviour of cement and lime plaster // *Building and Environment*. 2022. Vol. 217. Pp. 109098.
17. *Drochytka R., Zach J., Korjenic A., Hroudová J.* Improving the energy efficiency in buildings while reducing the waste using autoclaved aerated concrete made from power industry waste // *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 58. Pp. 319—323.
18. *Maia J., Ramos N. M. M., Veiga R.* Evaluation of the hygrothermal properties of thermal rendering systems // *Building and Environment*. 2018. Vol. 144. Pp. 437—449.
19. *Mazhoud B., Collet F., Pretot S., Chamoin J.* Hygric and thermal properties of hemp-lime plasters // *Building and Environment*. 2016. Vol. 96. Pp. 206—216.
20. Modified lime-cement plasters with enhanced thermal and hygric storage capacity for moderation of interior climate / Z. Pavlík, J. Fort, M. Pavlíková, J. Pokorný, A. Trník, R. Cerný // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 126. Pp. 113—127.

© Шангина Н. Н., Харитонов А. М., Корниенко С. В., Ольшевский В. Я.,  
Фомин С. Н., Горшков А. С., 2025

Поступила в редакцию  
08.04.2025

**Ссылка для цитирования:**

Сравнительный анализ комплекса теплофизических свойств цементного и известкового штукатурных растворов / Н. Н. Шангина, А. М. Харитонов, С. В. Корниенко, В. Я. Ольшевский, С. Н. Фомин, А. С. Горшков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 67—76. DOI: 10.35211/18154360\_2025\_2\_67

**Об авторах:**

**Шангина Нина Николаевна** — д-р техн. наук, проф., и.о. зав. каф. архитектурно-строительного проектирования, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Российская Федерация, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 9; arsp@rgups.ru

**Харитонов Алексей Михайлович** — д-р техн. наук, доц., проф. каф. технологии строительных материалов и метрологии, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4; reepdv@mail.ru

**Корниенко Сергей Валерьевич** — д-р техн. наук, доц., зав. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400001, Волгоград, пр-т Ленина, 28; skorn73@mail.ru

**Ольшевский Вячеслав Янушевич** — канд. техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории защищенных и модульных сооружений, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; olshevskij-вуо@spbstu.ru

**Фомин Станислав Николаевич** — зам. руководителя ИИЦ «Строительство и реконструкция», ООО «АЖИО». Российская Федерация, 196608, г. Санкт-Петербург, ул. Автомобильная, 9Б, пом. 1-Н; fomin@agiogk.ru

**Горшков Александр Сергеевич** — д-р техн. наук, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Российская Федерация, 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18; alsgor@yandex.ru

**Nina N. Shangina<sup>a</sup>, Alexey M. Kharitonov<sup>b</sup>, Sergey V. Korniyenko<sup>c</sup>, Vyacheslav Ya. Olshevsky<sup>d</sup>, Stanislav N. Fomin<sup>e</sup>, Alexander S. Gorshkov<sup>f</sup>**

<sup>a</sup> *Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University*

<sup>b</sup> *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

<sup>c</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>d</sup> *Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University*

<sup>e</sup> *Agio LLC*

<sup>f</sup> *Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COMPLEX OF THERMAL AND MOISTURE PROPERTIES OF CEMENT AND LIME PLASTER MORTARS

Based on the tests, thermal quality indices (TQIs) of plasters were obtained: cement plaster — 0.05 1/%, lime plaster — 0.03 1/%. A comparative analysis of the complex of thermal and moisture properties of cement and lime plaster mortars made it possible to establish the regularity of the effect of humidity on the thermal conductivity of these materials. The relatively lower TQI value of lime plaster is due to a lower increment in thermal conductivity from humidity. The results obtained confirm the need to put into practice plaster mortars with increased thermal and moisture properties and increase the accuracy of thermal calculations.

**Key words:** facades, plaster coating, lime plaster, humidity, thermal conductivity, thermal quality index.

**For citation:**

Shangina N. N., Kharitonov A. M., Korniyenko S. V., Olshevsky V. Ya., Fomin S. N., Gorshkov A. S. [Comparative analysis of the complex of thermal and moisture properties of cement and lime plaster mortars]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo*

*i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 67—76. DOI: 10.35211/18154360\_2025\_2\_67.

*About authors:*

**Nina N. Shangina** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University. 9, Moscow ave., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation; arsp@pgups.ru

**Alexey M. Kharitonov** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; peepdv@mail.ru

**Sergey V. Korniyenko** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University. 28, Lenina ave., Volgograd, 400001, Russian Federation; skorn73@mail.ru

**Vyacheslav Ya. Olshevsky** — Candidate of Engineering Sciences, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 29, Polytechnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; olshevskij-vyo@spbstu.ru

**Stanislav N. Fomin** — Deputy Head of the IIC “Construction and Reconstruction”, LLC “AGIO”. 9B, Avtomobilnaya st., Saint Petersburg, 196608, Russian Federation; fomin@agiogk.ru

**Alexander S. Gorshkov** — Doctor of Engineering Sciences, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. 18, B. Morskaya st., Saint Petersburg, 1911862, Russian Federation; alsgor@yandex.ru