

УДК 691.5:692.23

М. В. Фролов, В. И. Логанина, В. С. Пылаев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗВЕСТКОВОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ В КАЧЕСТВЕ ОТДЕЛОЧНОГО СЛОЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

Рассмотрены вопросы влияния отделочного слоя на тепловлажностный режим ограждающих конструкций зданий на примере четырех видов сухих строительных штукатурных смесей и трех типов ограждающих конструкций. Проанализировано количество выпадающего конденсата в зависимости от вида конструкции и времени эксплуатации. Установлено, что наличие отделочного слоя на основе сухой строительной смеси на наружной поверхности ограждающей конструкции способствует смещению нулевой изотермы. Применение штукатурок на основе сухих строительных смесей Porotherm LP, VerMix ШН50 и на основе предлагаемой известковой штукатурки исключает образование конденсата внутри конструкций, выполненных из керамзитобетона с утеплителем и кирпича с утеплителем. Обоснована целесообразность использования сухой строительной смеси на основе разработанного известкового состава с добавками полисахаридов.

Ключевые слова: известковое теплоизоляционное покрытие, тепловлажностный режим ограждения, количество конденсата, влажность конструкции.

Введение

Для отделки наружных стен зданий широкое применение находят известковые составы. Учитывая низкую эксплуатационную стойкость известковых покрытий, в рецептуру вводят модифицирующие добавки [1—3]. Применяемые для модификации строительных материалов добавки различны по химическому составу и физическим характеристикам. Нами предложено добавлять в рецептуру известкового раствора синтетические полисахариды Atren Cem LV и Atren Cem HV (ТУ 2458-062-63121839—2014), что позволит получить известковый состав с мезо-наноструктурными характеристиками, которые схожи с кальцитовыми биоминералами [4—8]. Такая структура композита значительно увеличит долговечность реставрационного материала.

Авторами разработан состав штукатурки, включающий известь, добавку синтетического полисахарида, зольные микросферы алюмосиликатные, пластификатор, редиспергируемый порошок. Известковые покрытия на основе составов с добавкой полисахаридов Atren Cem LV характеризуются более высокой стойкостью к образованию трещин. Прочность при растяжении составляет 0,47 МПа при содержании добавки 1 % от массы извести, коэффициент теплопроводности 0,202 Вт/(м·К), коэффициент паропроницаемости — 0,12 мг/(м·ч·Па). Марка по морозостойкости отделочного слоя составляет F35 [9, 10].

Для оценки условий эксплуатации разработанного штукатурного слоя и эффективности его применения по сравнению с другими видами штукатурок представляет интерес оценка влияния отделочного слоя на основе разработанного состава на изменение тепловлажностного режима ограждающей конструкции.

Обоснование для данной оценки подкрепляется множеством российских и зарубежных исследований, подчеркивающих значимость проектирования наружных ограждающих конструкций с учетом их влажностного режима.

Материалы и методика эксперимента

Для оценки эффективности применения предлагаемой сухой строительной смеси выполнен теплотехнический расчет стены. Расчетные схемы исследуемых конструкций стен представлены на рис. 1.

Разрабатываемый состав сравнивали со штукатурными смесями 3 видов:

- штукатурка цементная фасадная «Кнауф-Грюнбанд», коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,01$ мг/(м·ч·Па);
- легкая штукатурка Porotherm LP, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,134$ мг/(м·ч·Па);
- штукатурка теплоизоляционная для наружных работ VerMix ШН50, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,11$ мг/(м·ч·Па).

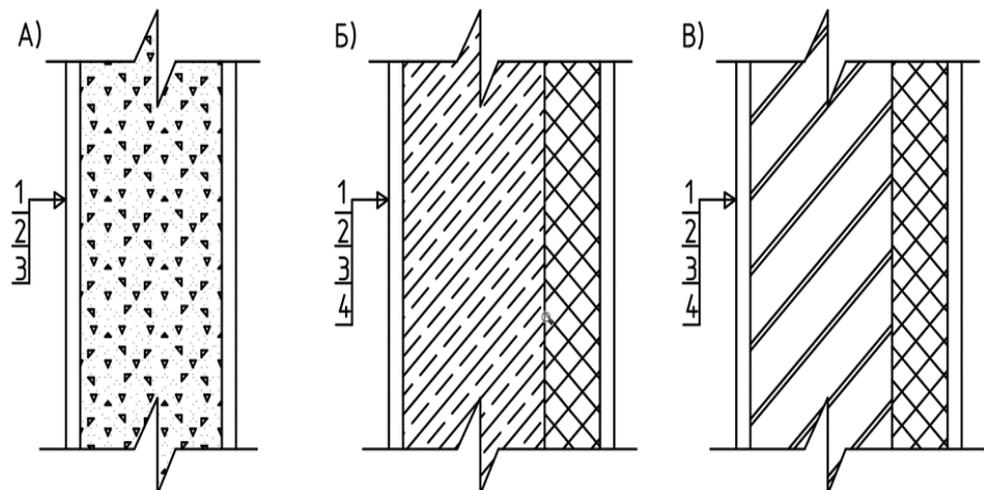


Рис. 1. Расчетные схемы исследуемых наружных стен: *a* — конструкция из пенобетона; *б* — конструкция из керамзитобетона с дополнительным утеплением из минеральной ваты; *в* — конструкция из кирпича с дополнительным утеплителем из минеральной ваты

В таблице 1 представлены данные об используемых в рассматриваемых конструкциях материалах и их характеристики: толщина слоя материала δ , м; средняя плотность материала ρ , кг/м³; коэффициент теплопроводности для условий эксплуатации λ_A , Вт/(м·К); коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па).

Предварительно выполнен теплотехнический расчет, в соответствии с которым конструкции наружных стен соответствуют требованиям СП 50.13330.2024¹. Рассчитан влажностный режим стен различной конструкций для условий г. Иркутска. Выбор данного города обусловлен тем, что он расположен в климатическом подрайоне 1В, для которого характерны холодные зимы. Если результаты исследований покажут высокую эффективность применения разработанного состава в рассматриваемых ограждениях, можно считать, что в более теплом климате влажностный режим в стенах будет еще более благоприятным.

¹ СП 50.13330.2024. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306326592>.

Т а б л и ц а 1

Характеристики материалов

Конструкция наружной стены	№ слоя	Материал	δ , м	ρ , кг/м ³	λ_A , Вт/(м·К)	μ , мг/(м·ч·Па)
Конструкция из пенобетона	1	Штукатурка цементно-шлаковая	0,01	1200	0,470	0,140
	2	Пенобетон D400	0,45	400	0,14	0,230
	3	«Кнауф-Грюнбанд»	0,018	1100	0,35	0,1
		Porothem LP	0,018	900	0,25	0,134
		VerMix ШН50	0,018	1000	0,26	0,11
	Разработанный состав	0,018	800	0,202	0,12	
Конструкция из керамзитобетона с дополнительным утеплением из минеральной ваты	1	Штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
	2	Керамзитобетон	0,51	1200	0,44	0,11
	3	Маты минераловатные	0,10	125	0,041	0,40
	4	«Кнауф-Грюнбанд»	0,018	1100	0,35	0,1
		Porothem LP	0,018	900	0,25	0,134
		VerMix ШН50	0,018	1000	0,26	0,11
		Разработанный состав	0,018	800	0,202	0,12
Конструкция из кирпича с дополнительным утеплителем из минеральной ваты	1	Штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
	2	Кирпич глиняный	0,51	1800	0,70	0,11
	3	Маты минераловатные	0,10	125	0,041	0,40
	4	«Кнауф-Грюнбанд»	0,018	1100	0,35	0,1
		Porothem LP	0,018	900	0,25	0,134
		VerMix ШН50	0,018	1000	0,26	0,11
		Разработанный состав	0,018	800	0,202	0,12

Средняя температура наружного воздуха в Иркутске для зимы (декабрь, январь, февраль) равна $t_{\text{зим}} = -16,5$ °С. Авторы сопоставляли температуры начала конденсации $t_{\text{нк}}$ в исследуемых ограждениях со средними температурами самых холодных месяцев: ноябрь, $t_{\text{нояб}} = -7,9$ °С; декабрь, $t_{\text{дек}} = -15,7$ °С; январь, $t_{\text{январь}} = -18,4$ °С; февраль, $t_{\text{фев}} = -15,4$ °С.

Расчетные параметры внутреннего воздуха принимали равными: температура $t_{\text{в}} = +21,0$ °С, относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{\text{в}} = 50$ %, относительная влажность наружного воздуха 79 %.

Количество выпадающего конденсата определяли отдельно для каждого месяца. Для этого при средней температуре расчетного месяца определяли количество выпадающего конденсата за час G_k^u мг/(м²·ч) по формуле:

$$G_k^u = \frac{e_b - E_k}{\frac{1}{\alpha_b^n} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}} - \frac{E_k - e_n}{\frac{1}{\alpha_n^n} + \sum \frac{\delta_n}{\mu_n}}, \quad (1)$$

где e_b , e_n — действительная упругость водяного пара соответственно во внутреннем и наружном воздухе, Па; E_k — максимальная упругость водяного пара в плоскости конденсации, Па; α_b^n , α_n^n — коэффициенты паропроницания соответственно внутренней и наружной поверхности стены, мг/(м·ч·Па); δ_i , δ_n — толщина слоев, расположенных соответственно до и после плоскости конденсации; μ_i , μ_n — паропроницание слоев, расположенных соответственно до и после плоскости конденсации, мг/(м·ч·Па).

С учетом длительности каждого месяца определяли количество конденсата, выпадающего за весь период влагонакопления [11—14].

Увеличение весовой влажности W , %, при конденсации водяных паров рассчитывали по формуле:

$$W = \frac{G_k}{\rho \cdot \delta} \cdot 100, \quad (2)$$

где ρ — средняя плотность материала увлажненного слоя, кг/м³; δ — толщина слоя конденсации, м.

Результаты

Анализ результатов теплотехнического расчета свидетельствует о влиянии отделочного слоя на основе сухих строительных смесей на наружной поверхности ограждающей конструкции на положение нулевой изотермы. Наблюдается смещение нулевой изотермы на 0,174...186 м от внутренней поверхности стены из пенобетона и на 0,494...0,530 м для конструкции из керамзитобетона и керамического кирпича (табл. 2).

Таблица 2

Положение нулевой изотермы (расстояние от внутренней поверхности)

Вид конструкции	Виды сухих строительных смесей			
	Разработанный состав	«Кнауф-Грюнбанд»	Porotherm LP	VerMix ШН50
Стены из пеноблока без утеплителя	0,180 м	0,186 м	0,178 м	0,174 м
Стены из керамзитобетона с утеплителем	0,500 м	0,494 м	0,496 м	0,500 м
Стены из глиняного кирпича с утеплителем	0,530 м	0,525 м	0,528 м	0,522 м

На внутренней поверхности рассматриваемых ограждений выпадение конденсата наблюдаться не будет, т. к. температура на внутренней поверхности ограждений выше температуры точки росы.

Результаты расчета температуры начала конденсации представлены на рис. 2.

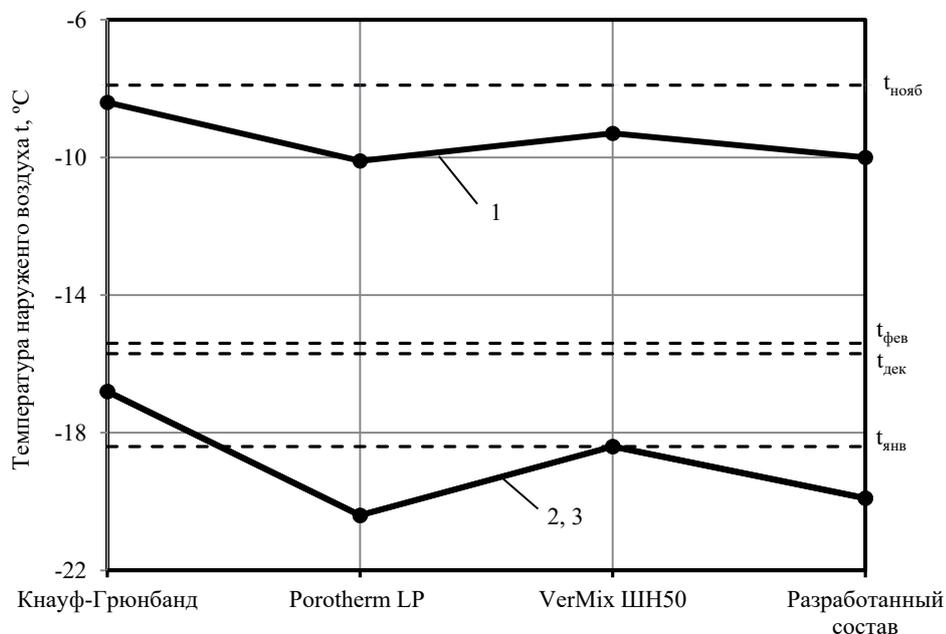


Рис. 2. Зависимости температуры начала конденсации $t_{нк}$ от вида штукатурного состава: 1 — пенобетон без утеплителя; 2 — керамзитобетон с утеплителем; 3 — кирпичи с утеплителем

Установлено, что в стене, выполненной из пенобетона, в марте не будет наблюдаться конденсация влаги. Однако в течение декабря — февраля в ограждении будет наблюдаться конденсация влаги при применении всех четырех видов сухих строительных смесей в качестве отделочного слоя. Для конструкций, выполненных из керамзитобетона с утеплителем и кирпича с утеплителем, конденсация влаги будет наблюдаться в январе только при применении штукатурки цементной фасадной «Кнауф-Грюнбанд». Это связано с тем, что покрытия на основе данной штукатурки обладают большим коэффициентом теплопроводности λ_d и меньшим коэффициентом паропроницаемости μ . Применение штукатурок на основе смесей Porotherm LP, VerMix ШН50 и на основе предлагаемой известковой штукатурки исключает образование конденсата в толще конструкции.

Выявлено, что для газобетона при применении штукатурки цементной фасадной «Кнауф-Грюнбанд» наблюдается максимальное количество выпадающего конденсата, составляющее $0,564 \text{ кг/м}^2$ (табл. 3). Применение штукатурки на основе разработанного состава позволяет снизить количество выпадающего конденсата в пенобетоне до $0,469 \text{ кг/м}^2$.

Результаты расчетов свидетельствуют, что конденсат в стенах из пеноблока станет появляться внутри пенобетона. Влага в толще стены будет

перемещаться в пенобетоне к наружной стороне и накапливаться под внешней штукатуркой в слое примерно 0,05 м.

Таблица 3

Количество выпадающего конденсата и прирост влажности

Вид конструкции	Виды сухих строительных смесей			
	Разработанный состав	«Кнауф-Грюнбанд»	Porotherm LP	VerMix ШН50
Стены из пеноблока без утеплителя	<u>0,469*</u> 1,53	<u>0,564</u> 1,88	<u>0,448</u> 1,49	<u>0,513</u> 1,71
Стены из керамзитобетона с утеплителем	<u>0,000</u> 0,00	<u>0,025</u> 0,98	<u>0,000</u> 0,00	<u>0,000</u> 0,00
Стены из глиняного кирпича с утеплителем	<u>0,000</u> 0,00	<u>0,025</u> 0,98	<u>0,000</u> 0,00	<u>0,000</u> 0,00

Примечание: * — над чертой указано количество выпадающего конденсата, G_k , кг/м² за весь период влагонакопления, под чертой указан прирост влажности в слое толщиной 5 см за весь период влагонакопления, W , %.

В стенах из керамзитобетона и керамического кирпича при применении в качестве наружной отделки штукатурки цементной фасадной «Кнауф-Грюнбанд» конденсат будет скапливаться в слое утеплителя перед штукатуркой, толщиной около 0,05 м. Поэтому для расчета влагонакопления толщину слоя конденсации δ принимали равной 0,05 м. Наибольший прирост влажности также наблюдается в пенобетоне. При этом во всех рассматриваемых ограждениях прирост влажности W незначительный, накопившаяся влага в стене не будет оказывать существенного влияния на эксплуатационные характеристики и долговечность исследуемых конструкций наружных стен.

Выводы

Установлено, что эффективность использования предложенной известковой штукатурки для наружной отделки сопоставима с популярными сухими строительными смесями «Кнауф-Грюнбанд», Porotherm LP, VerMix ШН50.

Зафиксировано смещение нулевой изотермы в ограждающей конструкции при наличии отделочного слоя.

Отмечено снижение объема выпадающего конденсата при применении разработанной известковой штукатурки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куликова А. А., Демьяненко О. В., Сорокина Е. А., Копаница Н. О. Комплексные модифицирующие добавки для строительных смесей на цементной основе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 140—148.
2. Loganina V. I., Frolov M. V. Research and optimization of the technology for the synthesis of a modifying additive based on a mixture of hydrosilicates and calcium aluminosilicates // Nanotechnologies in construction. 2022. Vol. 14. Iss. 3. Pp.190—197.
3. Loganina V. I., Akzhigitova E. R. Mineral additive for lime dry building mixtures // Magazine of Civil Engineering. 2023. Vol. 117. Iss. 1. Art. 11707.
4. Bokan Bosiljkov V. The use of industrial and traditional limes for lime mortars // In: Lourenco. Historical Constructions. University of Minho, Guimaraes. 2001. Pp. 343—352.
5. Degradation of ancient Maya carved tuff stone at Copan and its bacterial bioconservation / K. Elert, E. Ruiz-Agudo, F. Jroundi, M. T. Gonzalez-Muñoz, B. W. Fash, W. L. Fash, N. Valentin, A. De Tagle, C. Rodriguez-Navarro // Mater. Degrad. 2021. Vol. 5. Iss. 1. P. 44.

6. *Littmann E. R.* Ancient Mesoamerican mortars, plasters, and stuccos: The use of bark extracts in lime plasters // *Am. Antiquity*. 1960. Vol. 25. Pp. 593—597.
7. Studies on the Mayan mortars technique / *D. Magaloni, R. Pancella, Y. Fruh, J. Cañetas, V. Castaño* // *MRS Online Proc. Lib.* 1995. Vol. 352. Pp. 483—489.
8. *Pokroy B., Fitch A., Zolotoyabko E.* The microstructure of biogenic calcite: A view by high-resolution synchrotron powder diffraction // *Adv. Mater.* 2006. Vol. 18. Pp. 2363—2368.
9. *Логанина В. И., Пылаев В. С.* Стойкость к трещинообразованию известковых покрытий с добавками полисахаридов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. 2025. № 2. С. 24—30.
10. *Loganina V., Pylaev V.* Physical and Mechanical Properties of Lime Coatings with the Additive of Polysaccharides // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 533. Art. 01002.
11. *Логанина В. И., Фролов М. В., Скачков Ю. П.* Оценка влияния отделочных покрытий на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 11. С. 1349—1356.
12. *Евдокимов А. В., Сергуненков Б. Б., Котельников Д. В.* Выбор фасадных покрытий с учетом паропроницаемости и водопоглощения // *Строительные материалы*. 2002. № 11. С. 30—31.
13. *Ватин Н. И., Горшков А. С., Глумов А. В.* Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 1. С. 28—33.
14. *Куприянов В. Н., Сафин И. Ш., Шамсутдинов М. Р.* Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 29—31.

© *Фролов М. В., Логанина В. И., Пылаев В. С., 2025*

Поступила в редакцию
09.04.2025

Ссылка для цитирования:

Фролов М. В., Логанина В. И., Пылаев В. С. Эффективность применения известковой штукатурной смеси в качестве отделочного слоя наружных стен зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 59—66. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_59.

Об авторах:

Фролов Михаил Владимирович — канд. техн. наук, доц. каф. теплогазоснабжения и вентиляции, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; mihail-frolovv@yandex.ru

Логанина Валентина Ивановна — д-р техн. наук, проф., зав. каф. управления качеством, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; loganin@mail.ru

Пылаев Вадим Сергеевич — аспирант каф. управления качеством, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; whenpay@gmail.com

Mikhail V. Frolov, Valentina I. Loganina, Vadim S. Pylaev

Penza State University of Architecture and Construction

THE EFFECTIVENESS OF USING LIME PLASTER MIXTURE AS A FINISHING LAYER OF EXTERIOR WALLS OF BUILDINGS

The issues of the influence of the finishing layer on the heat and humidity regime of building enclosing structures are considered using the example of four types of dry building plaster mixtures and three types of enclosing structures. The amount of condensate falling out is analyzed depending on the type of construction and operating time. It is established that the presence of a finishing layer based on a dry building mixture on the outer surface of the enclosing structure contributes to the displacement of the zero isotherm. The use of plasters based on Porotherm LP, VerMix SHN50 dry building mixes and based on the proposed lime plaster eliminates the formation of condensation in the

thickness of structures made of expanded clay with insulation and bricks with insulation. The expediency of using a dry building mix based on the developed lime composition with polysaccharide additives is formulated.

Key words: lime thermal insulation coating, heat and humidity regime of the enclosure, amount of condensate, humidity of the structure.

For citation:

Frolov M. V., Loganina V. I., Pylaev V. S. [The effectiveness of using lime plaster mixture as a finishing layer of exterior walls of buildings]. *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. 59–66. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_59.

About authors:

Mikhail V. Frolov — Candidate of Engineering Sciences, Penza State University of Architecture and Construction (PSUAS). 28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; mihail-frolovv@yandex.ru

Valentina I. Loganina — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University of Architecture and Construction (PSUAS). 28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; loganin@mail.ru

Vadim S. Pylaev — Postgraduate student, Penza State University of Architecture and Construction (PSUAS). 28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; whenpay@gmail.com