

А.Н. ГУДКОВ

АО «Тулаоргтехстрой», проспект Ленина, д. 108,
г. Тула, 300026, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО— МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГКОГО ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА НА ПЕНОКЕРАМИЧЕСКИХ ГРАНУЛАХ «СПАДАР» И АНАЛОГИЧНЫХ ЛЕГКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Аннотация

Введение. Штукатурки и сейчас являются одним из самых популярных материалов для отделки фасадов зданий. Современные штукатурки выпускаются в основном в виде готовых к использованию сухих смесей. Производители ставят перед собой задачи получения не только штукатурных смесей, удовлетворяющих стандартам, но и обладающих гидрофобностью, низкой плотностью и теплопроводностью и другими особенностями, что определяет функциональность штукатурного покрытия. В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения штукатурных смесей на новых видах легких заполнителей.

Цель. Провести сравнительные исследования физико-механических свойств легкого штукатурного раствора с использованием в качестве легкого заполнителя пенокерамических гранул «СПАДАР» и штукатурных растворов с аналогичными заполнителями.

Материалы и методы. Исследования проводились на легких штукатурных растворах с использованием в качестве легких заполнителей пенокерамических гранул «СПАДАР» и пенокерамических гранул другого производителя («KERWOOD»), гранул пеностекла, вспученного перлитового песка. Исследовались показатели плотности, прочности при осевом сжатии, водопоглощения при капиллярном подсосе, теплопроводности легкого штукатурного раствора в сухом состоянии. Испытания проводились по стандартным методам.

Результаты. Определены сравнительные технические характеристики исследуемых составов штукатурки. В ходе анализа полученных данных выявлены преимущества штукатурных составов с использованием в качестве легкого заполнителя пенокерамических гранул. На основе полученных данных разработан состав легкого штукатурного раствора плотностью до 700 кг/м³ с использованием пенокерамических гранул «СПАДАР».

Выводы. Наиболее эффективным по совокупности полученных значений исследуемых характеристик оказался состав штукатурки на основе пенокерамических гранул «СПАДАР». Во многом полученные значения исследуемых в данной работе технических характеристик этой штукатурки обеспечиваются именно пенокерамическими гранулами «СПАДАР». На основе полученных результатов необходимо исследовать другие свойства разработанных составов легких штукатурных смесей (адгезия, паропроницаемость, влагозащитные свойства по отношению к минеральному основанию, морозостойкость и т. д.).

Ключевые слова: легкая штукатурная смесь, легкие заполнители, пенокерамические гранулы, гранулы пеностекла, перлитовый песок

Для цитирования: Гудков А.Н. Сравнительное исследование физико-механических свойств легкого штукатурного раствора на пенокерамических гранулах «СПАДАР» и аналогичных легких заполнителях // Бетон и железобетон. 2024. № 4 (623). С. 39–49. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4\(623\)-39-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4(623)-39-49). EDN: FGUCIK

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

ООО «СПАДАР», на основании договора 1-2024 от 11.01.2024.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.09.2024

Поступила после рецензирования 05.10.2024

Принята к публикации 10.10.2024

A.N. GUDKOV

JSC Tulaorgtekhstroy, Lenin Avenue, 108, Tula, 300026, Russian Federation

COMPARATIVE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF A LIGHT PLASTER MORTAR BASED ON THE "SPADAR" FOAM CERAMIC GRANULES AND SIMILAR LIGHT FILLERS

Abstract

Introduction. Plasters are still one of the most popular materials for finishing of facades of buildings. Modern plasters are produced mainly in the form of ready-to-use dry mixes. Manufacturers set themselves the task of obtaining not only plaster mixtures meeting standards, but also having hydrophobicity, low density, thermal conductivity and other features that determine the functionality of the plaster coating. In this regard, there is a need to develop and implement plaster mixtures based on new types of light aggregates.

Aim. To conduct comparative studies of the physical and mechanical properties of a light plaster mortar using the "SPADAR" foam ceramic granules and plaster mortars with similar fillers as a light filler.

Materials and methods. The research was carried out on light plaster mortars using as light fillers: "SPADAR" and foam ceramic granules from another manufacturer ("KERWOOD"), foam glass granules, expanded perlite sand. The parameters of density, strength under axial compression, water absorption during capillary suction and thermal conductivity of a light plaster mortar in a dry state were studied. The tests were carried out according to standard methods.

Results. The comparative technical characteristics of the studied plaster compositions are determined. During the analysis of the data obtained, the advantages of plaster compositions using foam ceramic granules as a light filler were revealed. Based on the data obtained, the composition of a light plaster mortar with a density of up to 700 kg/m³ using the "SPADAR" foam ceramic granules was developed.

Conclusions. The composition of the plaster based on the "SPADAR" foam ceramic granules turned out to be the most effective by the obtained values of the studied characteristics in total. In many ways, the obtained values of the technical characteristics of this plaster studied in this work are provided precisely by the "SPADAR" foam ceramic granules. Based on the results obtained, it is necessary to investigate other properties of the developed compositions of light plaster mixtures (adhesion, vapor permeability, moisture-proof properties with respect to the mineral base, frost resistance, etc.).

Keywords: light plaster mixture, light fillers, foam ceramic granules, foam glass granules, perlite sand

For citation: Gudkov A.N. Comparative study of physical and mechanical properties of a light plaster mortar based on the "SPADAR" foam ceramic granules and similar light fillers. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 4 (623), pp. 39–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4\(623\)-39-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4(623)-39-49). EDN: FGUCIK

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

LLC "SPADAR", based on the agreement 1-2024 dated 11.01.2024.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 16.09.2024

Revised 05.10.2024

Accepted 10.10.2024

Введение

Штукатурки и сегодня являются одним из самых востребованных отделочных материалов, применяемых при отделке зданий и сооружений как фасада, так и внутренних помещений. Одним из перспективных видов штукатурных растворов является легкий штукатурный раствор на цементном вяжущем. Современные штукатурки в основном выпускаются в виде смесей сухих строительных и штукатурных растворов. Также некоторые штукатурные растворы могут быть изготовлены на месте (на строительной площадке) при четком соблюдении рецептуры и технологических параметров их изготовления.

Смеси сухие для штукатурных работ в России выпускаются на основании требований ГОСТ 33083-2014 [1]. Технические требования к легким штукатуркам указаны в [1, табл. 2].

Так, в соответствии с этой таблицей, легкие штукатурные растворы должны обладать следующими техническими характеристиками:

- средняя плотность в сухом состоянии – менее 1300 кг/м³;
- прочность на осевое сжатие – от 0,4 до 7,5 МПа;
- капиллярное водопоглощение – не более 0,4 кг/(м²×ч^{0,5});
- теплопроводность – менее 0,2 Вт/(м×К).

В данной работе проводились сравнительные испытания вышеперечисленных показателей штукатурных растворов. Испытания осуществлялись на легком штукатурном составе с пенокерамическими гранулами «СПАДАР» и на штукатурных составах с аналогичными заполнителями. Используемые в этой работе заполнители представлены ниже.

Следует отметить, что в легких штукатурных смесях в качестве основного заполнителя применяются легкие заполнители, такие как пенокерамические гранулы, перлитовый песок вспученный, вермикулитовый песок вспученный, гранулированное пеностекло, керамзитовый песок, гранулы вспученного или дробленого пенополистирола, граншлак и т. п.

Материалы испытаний

В работе проведены исследования: средней плотности в сухом состоянии, прочности на осевое сжатие, капиллярного водопоглощения и теплопроводности легкой штукатурной смеси с использованием в качестве основного заполнителя следующих материалов:

1. Гранулы пенокерамические «СПАДАР» (рис. 1) насыпной плотностью 390 кг/м³, фр. < 0,63 мм – 24,4 %, фр. 0,63 мм – 56 %, фр. 1,25 мм – 18,6 %.

2. Гранулы пенокерамические другого производителя (рис. 2) насыпной плотностью 380 кг/м³, фр. < 0,63 мм – 17,6 %, фр. 0,63 мм – 46,2 %, фр. 1,25 мм – 35,6 %.

3. Гранулированное пеностекло (рис. 3) насыпной плотностью 240 кг/м³, фр. 0,63–2,0 мм.

4. Вспученный перлитовый песок (рис. 4) насыпной плотностью 55 кг/м³.



Рис. 1. Гранулы пенокерамические «СПАДАР»
Fig. 1. "SPADAR" foam ceramic granules



Рис. 2. Гранулы пенокерамические другого производителя
Fig. 2. Foam ceramic granules from another manufacturer



Рис. 3. Гранулированное пеностекло
Fig. 3. Granular foam glass



Рис. 4. Вспученный перлитовый песок
Fig. 4. Expanded perlite sand

Для исследований были разработаны **четыре состава** легкой штукатурки **с одинаковым расходом** цемента, заполнителей и модифицирующих добавок, но с разными видами заполнителей, а именно использовались заполнители, представленные выше: пенокерамические гранулы «СПАДАР», пенокерамические гранулы другого производителя, гранулированное пеностекло и вспученный перлитовый песок.

В качестве заполнителя, обеспечивающего выход растворной смеси на 1 м³ (с учетом разной плотности используемых легких заполнителей), **в составах 3 и 4** использован минеральный порошок МП-1.

В качестве вяжущего вещества был использован белый портландцемент турецкого производства, класс цемента соответствует ЦЕМ I 52,5 по ГОСТ 31108-2020 [2].

Модифицирующие добавки, используемые в данном исследовании

Для обеспечения водоудерживающих свойств и необходимой реологии растворной смеси использовался порошок **эфира целлюлозы** с вязкостью не менее 60 000 МПа·с в дозировке 0,3 % от массы сухой смеси.

Для дополнительного усиления тиксотропных свойств растворной смеси, снижения ее налипаемости на инструмент был использован **эфир крахмала** в дозировке 0,1 % от массы сухой смеси.

Для придания гидрофобных свойств исследуемым штукатурным составам использовался комплексный порошковый **гидрофобизатор** в дозировке 1 % от массы сухой смеси.

Для обеспечения адгезии к основанию, повышения сопротивления на изгиб, повышения водостойкости разрабатываемых составов использовался **редиспергируемый сополимерный порошок** (РПП) сополимера винилацетат-этилен в количестве 1,5 % от массы сухой смеси.

Дозировки модифицирующих добавок взяты из опыта предыдущих разработок и одинаковы во всех четырех составах.

Составы подбирались с учетом получения технологичных и функциональных растворных смесей.

Также стоит отметить, что исходные материалы при проектировании составов легкой штукатурной смеси подбирались с учетом получения белого цвета затвердевшей штукатурки, что существенным образом влияет на ее декоративно-эксплуатационные свойства. Исключение составляет только гранулированное пеностекло, имеющее серый цвет. Но это не влияет на результаты проводимых исследований в данном случае.

Разработанные составы представлены в табл. 1.

Методики испытаний

Определение насыпной плотности сухой смеси исследуемых составов проводилось по методике ГОСТ 8735-88 [3].

Определение технических характеристик сухой смеси и растворной смеси. Подвижность и плотность растворной смеси исследуемых составов определялись по методикам ГОСТ 5802-86 [4].

В данной работе исследовались такие характеристики сухого раствора, как плотность в сухом состоянии, прочность при сжатии, водопоглощение при капиллярном подсосе и теплопроводность. С этой целью были изготовлены четыре серии образцов-балочек 4 × 4 × 16 см растворной смеси.

Формование образцов осуществлялось из подготовленной растворной смеси вручную в формах образцов-балочек 4 × 4 × 16 см. Через сутки после формования образцы извлекались из форм. Образцы исследуемых составов твердели 28 суток в нормальных условиях, после чего подвергались сушке в сушильном шкафу СНОЛ 67/350 при температуре 60 °С до постоянной влажности.

Таблица 1
Table 1

Исследуемые составы легкой штукатурки
The studied compositions of light plaster

Наименование материала	Расход материала, % от смеси			
	Состав 1, «СПАДАР»	Состав 2, пенокерамические гранулы другого производителя	Состав 3, перлит	Состав 4, пеностекло
Портландцемент белый СЕМ I R 52.5, Турция	49,0	49,0	49,0	49,0
Гранулы пенокерамики (песок) «СПАДАР»	48,1	—	—	—
Гранулы пенокерамики (песок) другого производителя	—	48,1	—	—
Перлитовый песок	—	—	7,0	—
Пеностекло гранулированное	—	—	—	30,0
Мин. порошок МП-1	—	—	41,1	18,1
Эфир целлюлозы	0,3	0,3	0,3	0,3
Эфир крахмала	0,1	0,1	0,1	0,1
Гидрофобизатор	1,0	1,0	1,0	1,0
Редиспергируемый сополимерный порошок	1,5	1,5	1,5	1,5

Сравнительные испытания плотности и прочности на сжатие исследуемых составов легкой штукатурки проводились по ГОСТ 5802-86 [4], ГОСТ 310.4-81 [5].

После сушки и определения плотности в сухом состоянии образцы исследуемых составов (состав 1–4) испытывались на осевое сжатие на прессе ИП-100.

Сравнительные испытания капиллярного водопоглощения исследуемых составов проводились по методике испытаний ГОСТ Р 58277-2018 [6].

Для испытаний использовались образцы-половинки балочек 4 × 4 × 8 см высушенного до постоянной массы затвердевшего раствора (рис. 5), покрытые с пяти сторон эпоксидной смолой. Тильная сторона в месте разреза балочки на две части ничем не покрывается.



Рис. 5. Фото подготовки образцов для испытаний капиллярного водопоглощения («СИЛИГРАН» – «СПАДАР»)

Fig. 5. Photos of sample preparation for capillary water absorption tests ("SILIGRAN" – "SPADAR")

Приборы и оборудование: весы электронные SK-2000D.

Сравнительные испытания теплопроводности подготовленных составов проводились по методике испытаний ГОСТ 30256-94 [7].

Приборы и оборудование: измеритель теплопроводности материалов МИТ-1, заводской № 149.

Результаты испытаний

Определены технические характеристики сухой смеси и раствора разрабатываемых составов легкой штукатурки, которые представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что наименьшей плотностью растворной смеси обладает **состав 4** на гранулированном пеностекле, а наибольшей плотностью – **состав 3** на перлитовом песке. **Составы 1 и 2** с использованием пенокерамических гранул в качестве заполнителя имеют одинаковую плотность растворной смеси.

Водопотребность растворной смеси в исследуемых составах (табл. 2) подбиралась с учетом обеспечения подвижности раствора не менее ПЗ (8–12 см).

Испытания плотности, прочности, капиллярного водопоглощения и теплопроводности исследуемых составов

Сравнительные испытания плотности и прочности на сжатие исследуемых составов легкой штукатурки

В результате испытаний установлено (табл. 3 и рис. 6):

Наименьшей плотностью в сухом состоянии в 660 кг/м³ обладает **состав 4** на гранулах пеностекла, при этом данный состав имеет прочность при сжатии, равную 3,5 МПа, что соответствует классу КП11, ГОСТ 33083-2014 [1].

Наибольшую плотность в 760 кг/м³ и наименьшую прочность на сжатие, равную 2,7 МПа, имеет **состав 3** на перлитовом песке.

Таблица 2

Table 2

Технические характеристики исследуемых составов сухой штукатурной смеси и растворной смеси

Technical characteristics of the studied compositions of dry plaster mixture and mortar mixture

Наименование показателя	Состав 1, «СПАДАР»	Состав 2, пенокерамические гранулы другого производителя	Состав 3, перлит	Состав 4, пеностекло
Насыпная плотность сухой смеси, кг/м ³	648	650	570	570
Подвижность растворной смеси, см (ПкЗ)	10	10	9	11
Плотность растворной смеси, кг/м ³	900	904	1060	850
Расход воды, л/кг	0,55	0,55	0,63	0,55

Таблица 3

Table 3

Средняя плотность, прочность на сжатие исследуемых составов штукатурки

Average density, compressive strength of the studied plaster compositions

Наименование показателя	Состав 1, «СПАДАР»	Состав 2, пенокерамические гранулы другого производителя	Состав 3, перлит	Состав 4, пеностекло
Плотность раствора в сухом состоянии, кг/м ³	710	720	760	660
Прочность на сжатие, МПа	5,2	3,35	2,67	3,5

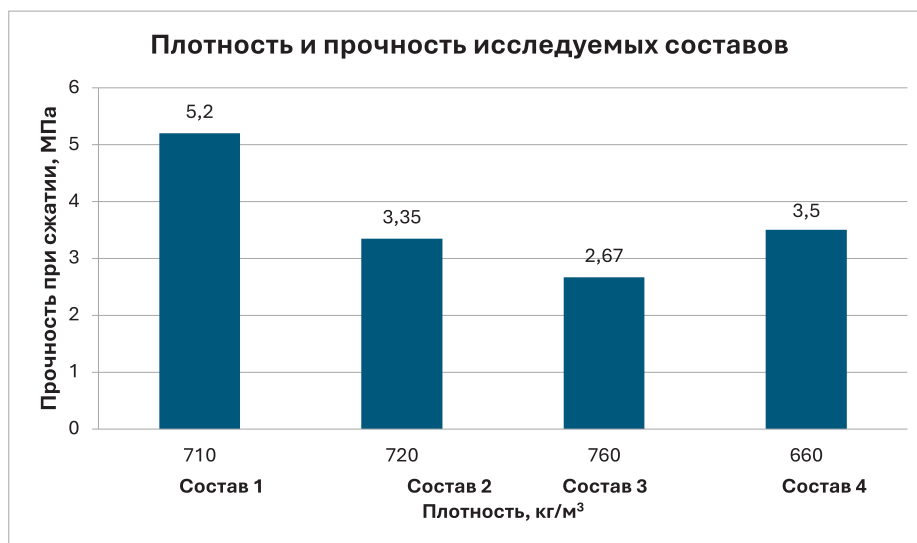


Рис. 6. Фактические значения плотности в сухом состоянии и прочности на осевое сжатие исследуемых составов
Fig. 6. Actual values of dry density and axial compressive strength of the studied compositions

А вот составы на пенокерамических гранулах имеют практически одинаковую плотность в сухом состоянии 710–720 кг/м³ (табл. 3), но вместе с тем **состав 1** на пенокерамике «СПАДАР» обладает наилучшей прочностью на сжатие, равной 5,2 МПа, что соответствует классу КР III по ГОСТ 33083-2014 [1].

Таким образом, установлено:

1. Исходя из полученных данных (табл. 3, рис. 6), **наибольшими прочностными** характеристиками из исследуемых составов обладает **состав 1** на пенокерамических гранулах «СПАДАР».

2. Состав 4 с гранулами пеностекла имеет наименьшую плотность и прочностные показатели, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурок (от 0,4 до 7,5 МПа).

3. Наибольшей плотностью и наименьшими прочностными характеристиками из исследуемых соста-

вов (табл. 3 и рис. 5) обладает **состав 3** на перлитовом песке. Тем не менее **состав 3** удовлетворяет требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей по показателям плотности (не более 1300 кг/м³) и прочности на сжатие (0,4–7,5 МПа).

4. **Состав 2** сопоставим по плотности с **составом 1** (табл. 3), состав 2 имеет прочностные характеристики, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей.

5. Все исследуемые **составы (1–4)** удовлетворяют требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей по показателям плотности и прочности на осевое сжатие (классу).

Сравнительные испытания капиллярного водопоглощения исследуемых составов

Результаты испытаний представлены в табл. 4 и на рис. 7.

Таблица 4
Table 4

Водопоглощение при капиллярном подсосе исследуемых составов Water absorption during capillary suction of the studied compositions

Номер состава	m_1 – среднее значение массы шести образцов при насыщении водой после погружения в течение 10 мин, кг	m_2 – среднее значение массы шести образцов при насыщении водой после погружения в течение 90 мин, кг	Капиллярное водопоглощение, W_k , кг/(м²×мин ^{0,5})
1 «СПАДАР»	0,096	0,098	0,14
2 пенокерамические гранулы другого производителя	0,094	0,098	0,28
3 перлит	0,099	0,109	0,7
4 пеностекло	0,086	0,091	0,35

$$W_k = K(m_2 - m_1), \text{ кг/(м}^2 \times \text{мин}^{0,5}),$$

$$K - \text{коэффициент капиллярного водопоглощения} = 1/(S\sqrt{t}) = 1/(0,0016\sqrt{80}) = 69,931 \text{ (м}^2 \times \text{мин}^{0,5}),$$

где S – площадь торцевой грани, м²; t – время проведения эксперимента.

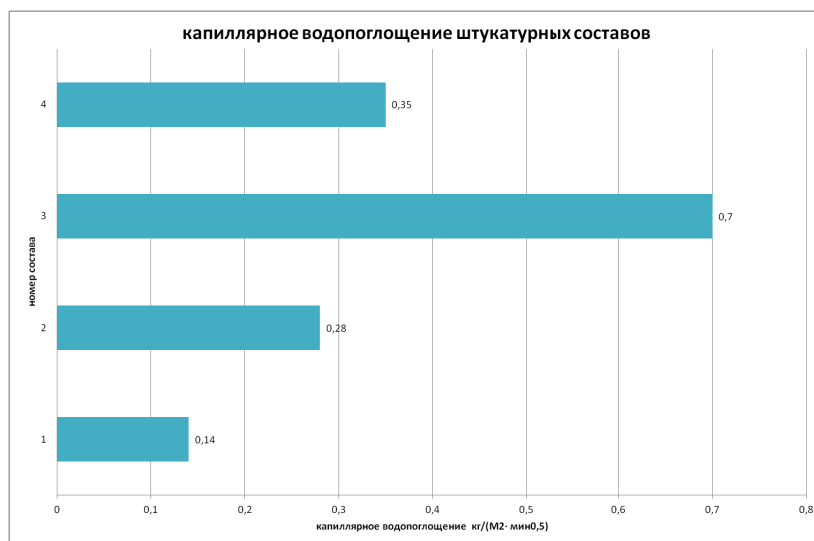


Рис. 7. Результаты испытаний исследуемых составов на капиллярное водопоглощение штукатурки
Fig. 7. Test results of the studied compositions for capillary water absorption of plaster

В результате проведенных сравнительных испытаний капиллярного водопоглощения исследуемых **составов 1–4** определено:

1. Наименьшим капиллярным водопоглощением, равным $0,14 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$, обладает **состав 1** с пенокерамическим заполнителем «СПАДАР».

2. Водопоглощение состава 2 на пенокерамических гранулах другого производителя составило $0,28 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$, что в 2 раза больше, чем у **состава 1**. Это связано с большей открытой пористостью штукатурной смеси на пенокерамике другого производителя. Песок пенокерамики «СПАДАР» более мелкий, имеет полифракционный состав с содержанием фр. < 0,63 мм – 24,4 %, фр. 0,63 мм – 56 %, фр. 1,25 мм – 18,6 %. Песок пенокерамики другого производителя более крупный, с содержанием фр. < 0,63 мм – 17,6 %, фр. 0,63 мм – 46,2 %, фр. 1,25 мм – 35,6 %.

3. **Состав 4** с использованием в качестве легкого заполнителя гранул пеностекла фр. 0,63–2,0 мм имеет капиллярное водопоглощение, равное

$0,35 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$, что больше, чем у **составов 1 и 2** на пенокерамике.

4. Наибольшим капиллярным водопоглощением, равным $0,7 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$, обладает **состав 3**.

5. Следует отдельно отметить, что в **составах 3 и 4** содержится минеральный порошок МП-1, который также влияет на увеличение капиллярного водопоглощения штукатурного раствора. Причем минерального порошка больше всего в **составе 3** на перлитовом песке (41,1 % от массы сухой смеси).

Таким образом, установлено (табл. 5):

1. Наименьшим капиллярным водопоглощением, равным $0,14 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$, обладает **состав 1** на пенокерамике «СПАДАР».

2. **Составы 1, 2, 4** имеют водопоглощение, отвечающее требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] – не более $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$.

3. **Состав 3** по величине капиллярного водопоглощения, равный $0,7 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$, не отвечает требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] – не более $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$.

Таблица 5
Table 5

Результаты испытаний теплопроводности исследуемых составов
The results of thermal conductivity tests of the studied compositions

Номер состава	Влажность, % по массе	Плотность, кг/м³, в сухом состоянии	Теплопроводность в сухом состоянии при (25 ± 5) °С, Вт/(м×К)
1 «СПАДАР»	0	710	0,169
2 пенокерамические гранулы другого производителя	0	720	0,185
3 перлит	0	760	0,200
4 пеностекло	0	660	0,184

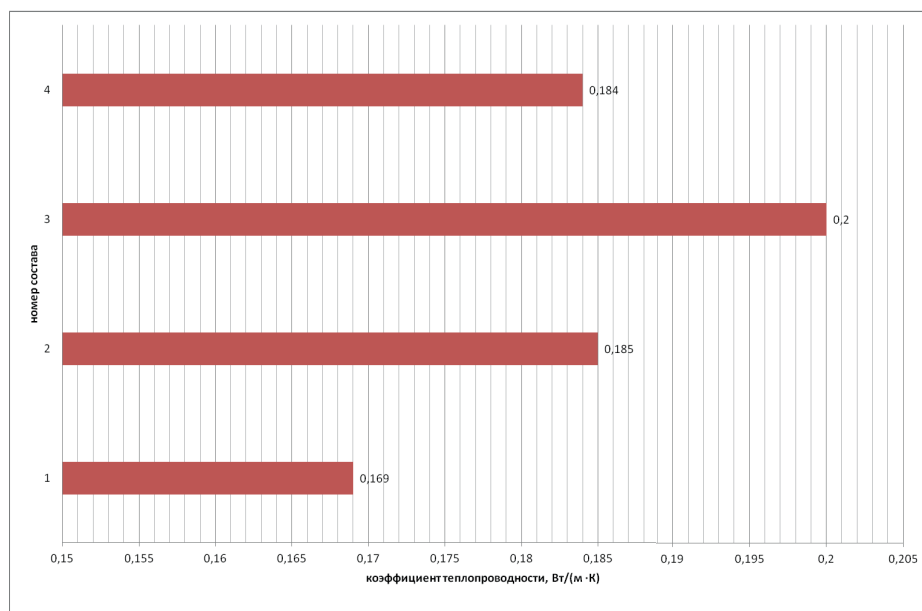


Рис. 8. Результаты сравнительных испытаний теплопроводности исследуемых составов штукатурки
Fig. 8. Results of comparative tests of thermal conductivity of the studied plaster compositions

Сравнительные испытания теплопроводности подготовленных составов

В результате проведенных сравнительных испытаний теплопроводности **составов 1–4** определено (рис. 8):

1. Наименьшей теплопроводностью в сухом состоянии, равной 0,169 Вт/(м·К) (рис. 9), обладает штукатурка на основе **состава 1** с пенокерамическими гранулами «СПАДАР».

2. **Составы 4** (на пеностекольных гранулах) и **2** (на пенокерамических гранулах «KERWOOD») имеют практически одинаковую теплопроводность, равную 0,184–0,185 Вт/(м·К).

3. **Состав 3** на перлитовом песке имеет теплопроводность, равную 0,2 Вт/(м·К) (рис. 10), что не

соответствует требованию ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей – менее 0,2 Вт/(м·К).

Таким образом, установлено:

1. Наиболее эффективным по теплопроводности является **состав 1** на основе пенокерамических гранул «СПАДАР».

2. **Составы 1, 2, 4** отвечают требованию ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей к максимальному значению коэффициента теплопроводности – не более 0,2 Вт/(м·К).

3. **Состав 3** не отвечает требованию ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей к максимальному значению коэффициента теплопроводности – менее 0,2 Вт/(м·К).



Рис. 9. Фото определения теплопроводности состава 1 легкой штукатурки с пенокерамикой «СПАДАР»

Fig. 9. Photo of thermal conductivity determination of composition 1 of light plaster with "SPADAR" ("SILIGRAN") foam ceramics



Рис. 10. Фото определения теплопроводности состава 3 легкой штукатурки с перлитом

Fig. 10. Photo of thermal conductivity determination of composition 3 of light plaster with perlite

Анализ полученных результатов испытаний

Разница в плотности растворной смеси в составах на разных заполнителях **является следствием разной насыпной плотности** легких заполнителей (пенокерамических гранул, гранул пеностекла и перлита) (табл. 2). Насыпная плотность легких заполнителей является функцией гранулометрического состава заполнителей.

Также, несмотря на схожую насыпную плотность сухой смеси, в **составах 3 и 4** плотность растворной смеси у этих составов существенно различается. Это происходит вследствие значительно большей водопотребности **состава 3** на основе перлитового песка (табл. 2) в отличие от других составов. Причиной большей водопотребности является наличие более 41 % минерального порошка МП-1 в составе штукатурной смеси (табл. 1).

Разница в прочностных характеристиках состава 1 (сжатие = 5,2 МПа) с **составом 2** (сжатие = 3,35 МПа) (табл. 3, рис. 6) **связана с разной прочностью самого пенокерамического заполнителя «СПАДАР»** и пенокерамического заполнителя другого производителя. Гранулы заполнителя «СПАДАР» имеют большую прочность, чем гранулы пенокерамики другого производителя.

Прочность при сдавливании в цилиндре (ГОСТ 9758-2012 [8]):

- пенокерамических гранул другого производителя, фр. 0,6–1,25 мм – 1,3 МПа;
- пенокерамических гранул «СПАДАР», фр. 0,5–1,0 мм – более 1,6 МПа.

Большее в 2 раза **водопоглощение состава 2** на пенокерамических гранулах «KERWOOD», чем у **состава 1** на пенокерамических гранулах «СПАДАР» (табл. 4, рис. 7), **связано с большей открытой пористостью** штукатурной смеси на другой пенокерамике. **Большая открытая пористость** цементной матрицы штукатурного **состава 2 образуется вследствие большего воздухововлечения** в процессе перемешивания **штукатурного раствора с водой**, что в свою очередь напрямую связано с гранулометрическим составом пенокерамического песка.

Песок пенокерамики «СПАДАР» более мелкий, имеет полифракционный состав с содержанием фр. < 0,63 мм – 24,4 %, фр. 0,63 мм – 56 %, фр. 1,25 мм – 18,6 %. Песок пенокерамики «KERWOOD» более крупный, с содержанием фр. < 0,63 мм – 17,6 %, фр. 0,63 мм – 46,2 %, фр. 1,25 мм – 35,6 %.

Состав 4 с использованием в качестве легкого заполнителя гранул пеностекла фр. 0,63–2,0 мм имеет водопоглощение, превышающее водопоглощение составов на пенокерамических гранулах (состав 1 и 2) (табл. 4, рис. 7). Это также связано с большей, чем в составах 1 и 2, открытой капиллярной пористостью цементной матрицы раствора **состава 4** вследствие преобладания в пеностеколь-

ном песке более крупных фракций.

Как было отмечено ранее, минеральный порошок МП-1 также влияет на увеличение капиллярного водопоглощения штукатурного раствора. Причем минерального порошка больше всего в **составе 3** на перлитовом песке (41,1 % от массы сухой смеси). И этот состав имеет наибольшее капиллярное водопоглощение (табл. 4, рис. 7).

Меньшая теплопроводность **состава 1** (на пенокерамических гранулах «СПАДАР») в сравнении с **составом 2** (на пенокерамических гранулах другого производителя) объяснима наличием большего количества мелкой фракции пенокерамического песка в составе штукатурной смеси (табл. 1, рис. 1) в сравнении с **составом 2** (табл. 1, рис. 2), что в свою очередь обеспечивает большую замкнутую пористость цементной матрицы (при перемешивании раствора) и, как следствие, уменьшение теплопроводности раствора, т. е. улучшается его термическое сопротивление.

Состав 3 на перлитовом песке имеет теплопроводность, равную 0,2 Вт/(м×К) (рис. 10), что не соответствует требованию ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей – менее 0,2 Вт/(м×К). Это связано с большей плотностью **состава 3** (табл. 3) в сравнении с остальными исследуемыми составами, что связано с наличием наибольшего количества минерального порошка МП-1 в составе штукатурной смеси (табл. 1).

Состав 4 на гранулированном пеностекле имеет теплопроводность, примерно равную теплопроводности **состава 2** (на пенокерамике другого производителя) (табл. 5), что связано не только с плотностью, но и с наличием в составе минерального порошка МП-1. Ввод минерального порошка МП-1 обеспечил **составу 4** (за счет воздухововлечения при перемешивании растворной смеси) схожую с **составом 2** замкнутую поровую структуру цементной матрицы, что повлияло на теплопроводность штукатурки.

Таким образом, фактор гранулометрического состава легкого заполнителя и фактор наличия и количества в составе легкой штукатурной смеси минерального порошка МП-1 напрямую влияют на исследуемые физико-механические характеристики испытанных образцов легких штукатурок.

Выводы

Подытоживая результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективным по совокупности полученных значений исследуемых характеристик является **состав 1** (табл. 1) на основе пенокерамических гранул «СПАДАР».

Полученные при испытаниях данные (плотности в сухом состоянии, прочности, капиллярного водопоглощения) **состава 1** соответствуют требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурных смесей (табл. 3–5).

2. **Состав 2** на основе пенокерамических гранул другого производителя имеет значения по исследуемым показателям, уступающие значениям **состава 1** (табл. 3–5 и рис. 5, 6, 8), но полученные значения соответствуют требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] к значениям исследуемых показателей для легких штукатурок.

3. **Состав 3** на основе перлитового песка имеет наибольшее значение по максимальной плотности и наименьшее значение по прочности (табл. 3). Кроме того, **состав 3** не соответствует требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурок по значениям капиллярного водопоглощения (табл. 4) и теплопроводности (табл. 5).

4. **Состав 4** на основе гранул пеностекла имеет наименьшее значение плотности раствора в сухом виде (табл. 3), однако по остальным исследуемым физико-механическим характеристикам данный состав уступает **составу 1**. Тем не менее полученные при испытаниях значения исследуемых физико-механических характеристик данного состава соответствуют требованиям ГОСТ 33083-2014 [1] для легких штукатурок.

На основании итогов сравнительных испытаний можно сделать вывод, что во многом полученные значения исследуемых в данной работе технических характеристик в **составе 1** обеспечиваются именно пенокерамическими гранулами «СПАДАР»*, в особенности:

- гранулометрическим составом пенокерамического песка – капиллярное водопоглощение и теплопроводность штукатурки;
- прочностью гранул – прочность при изгибе и сжатии штукатурки.

* При прочих равных условиях с другими исследуемыми составами: расходе вяжущих, заполнителей и функциональных добавок.

На основе полученных данных разработан состав легкого штукатурного раствора с использованием пенокерамических гранул «СПАДАР».

Благодарности.

Автор выражает благодарность компании ООО «СПАДАР» за предоставленные для проведения данной работы образцы пенокерамических гранул.

Список литературы

1. ГОСТ 33083-2014. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия.
2. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия.
3. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
4. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.
5. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями № 1, 2).

6. ГОСТ Р 58277-2018. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний.

7. ГОСТ 30256-94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом.

8. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.

9. ГОСТ 28013-98. Растворы строительные. Общие технические условия.

10. ГОСТ 32496-2013. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия.

11. СП 82-101-98. Приготовление и применение растворов строительных.

12. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.

13. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. 112 с.

14. Корнеев В.И., Зозуля П.В., Медведева И.Н., Богоявленская Г.А., Нуждина Н.И. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям. Санкт-Петербург: РИА «Квинтет», 2010. 318 с.

15. Корнеев В.И., Зозуля П.В. и др. Сухие строительные смеси (Состав, свойства): Учебное пособие. Москва: РИФ «Стройматериалы», 2010. 320 с.

16. Дергунов С.А., Орехов С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства): учебное пособие. Оренбург: Изд-во Оренбургского гос. ун-та, 2012. 106 с.

17. Бочкарева Т.М., Захаров А.В., Пономарев А.Б. Классические и новые технологии устройства отделочных покрытий: учебное пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. 224 с.

18. Урецкая Е.А., Плотникова Е.М. Особенности технологии легких штукатурных растворов, предназначенных для отделки поризованных керамических блоков и легких бетонов // *Проблемы современного бетона и железобетона*: сб. науч. тр. Минск: Ин-т БелНИИС, 2012 Вып. 4. С. 190–201.

19. Логанина В.И. Известковые сухие строительные смеси для реставрации и отделки зданий и сооружений: монография. Пенза: ПГУАС, 2015. 320 с.

References

1. State Standard 33083-2014. Dry building plaster cement binder mixes. Specifications. (In Russian).
2. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. (In Russian).
3. State Standard 8735-88. Sand for construction work. Testing methods. (In Russian).
4. State Standard 5802-86. Mortars. Test methods. (In Russian).
5. State Standard 310.4-81. Cements. Methods of bending and compression strength determination (with Amendments No. 1, 2). (In Russian).

6. State Standard R 58277-2018. Dry building mixes based on cement binder. Test methods. (In Russian).
7. State Standard 30256-94. Building materials and products. Method of thermal conductivity determination by cylindrical probe. (In Russian).
8. State Standard 9758-2012. Non-organic porous aggregates for construction work. Test methods. (In Russian).
9. State Standard 28013-98. Mortars. General specifications. (In Russian).
10. State Standard 32496-2013. Fillers porous for light concrete. Specifications. (In Russian).
11. SP 82-101-98. Manufacturing and usage of solutions in construction industry. (In Russian).
12. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. Moscow: ASV Publ., 2002, 500 p. (In Russian).
13. Bazhenov Yu.M., Korovyakov V.F., Denisov G.A. Technology of dry building mixes. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2011, 112 p. (In Russian).
14. Korneev V.I., Zozulya P.V., Medvedeva I.N., Bogoyavlenskaya G.A., Nuzhdina N.I. Compounding guide to dry building mixes. St. Petersburg: RIA "Quintet" Publ., 2010, 318 p. (In Russian).
15. Korneev V.I., Zozulya P.V. and others. Dry building mixes. (Composition, properties): Textbook. Moscow: RIF "Building materials" Publ., 2010, 320 p. (In Russian).
16. Dergunov S.A., Orekhov S.A. Dry building mixes (composition, technology, properties): textbook. Orenburg: Publishing House of Orenburg State University, 2012-106p (In Russian).
17. Bochkareva T.M., Zakharov A.V., Ponomarev A.B. Classical and new technologies of finishing coatings: textbook. Perm: Publishing House of Perm State Technical University, 2007, 224 p. (In Russian).
18. Uretskaya E.A., Plotnikova E.M. Features of the technology of light plaster solutions intended for finishing porous ceramic blocks and light concretes. *Problems of modern concrete and reinforced concrete*: collection of scientific tr. Minsk: In-t BelNIIS, 2012, Issue 4, pp. 190–201. (In Russian).
19. Loganina V.I. Lime dry building mixes for restoration and decoration of buildings and structures: monograph. Penza: PGUAS, 2015, 320 p. (In Russian).

**Информация об авторе /
Information about the author**

Алексей Николаевич Гудков, руководитель лаборатории строительных материалов и технологий проектно-технологического центра, АО «Тулаоргтехстрой», Тула
e-mail: alekseygudkov2016@yandex.ru

Alexey N. Gudkov, Head of the Laboratory of Building Materials and Technologies of the Design and Technology Center, JSC Tulaorgtekhstroy, Tula
e-mail: alekseygudkov2016@yandex.ru