

Сравнительный анализ оценки морозостойкости модифицированных строительных растворов по различным критериям

Г.В. Несветаев¹, Г.Н. Хаджишалапов², И.А. Животкова¹,

¹Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

²Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

Аннотация: Целью настоящего исследования является сравнительный анализ результатов оценки морозостойкости, полученных из сухих строительных смесей, содержащих редиспергируемые полимерные порошки (РПП) и тонкодисперсные наполнители природного и техногенного происхождения, строительных растворов по таким критериям морозостойкости, как изменение скорости ультразвука и динамического модуля упругости, пределов прочности при сжатии и изгибе, прочности сцепления с бетонным основанием. Состав смесей представлен соотношением компонентов цемент: песок: минеральные добавки (Ц:П:МД) = 1:1,3:0,2 при водоцементном соотношении (В/Ц) = 0,4. Число реализованных циклов замораживания и оттаивания для исследованных составов в зависимости от дозировки редиспергируемых полимерных порошков составило от 100 до 125. Морозостойкость исследованных растворов не исчерпана по основным нормируемым критериям. Отмечено положительное влияние РПП на морозостойкость контактной зоны. Самым «жестким» критерием является предел прочности при изгибе.

Ключевые слова: сухая строительная смесь, морозостойкость, прочность, строительный раствор, шлам химводоочистки, редиспергируемый полимерный порошок

Введение. Модифицированные различными полимерами строительные растворы из сухих строительных смесей (ССС) на портландцементном вяжущем составляют около 2/3 от общего объема производимых в РФ ССС и широко применяются при производстве различных конструкций, покрытий и отделок, в т.ч. эксплуатируемых при воздействии знакопеременных температур [1-3]. Морозостойкость строительного раствора является одним из основных нормируемых в ГОСТ 31357-2007 показателей качества. Марки по морозостойкости по критерию прочности при сжатии по ГОСТ 31357-2007 установлены от F15 до F400, а по морозостойкости контактной зоны для всех смесей, кроме клеевых, от $F_{кз}25$ до $F_{кз}100$. Для клеевых смесей оценка морозостойкости контактной зоны производится на базе 25 циклов. Методика определения морозостойкости строительных растворов из ССС регламентируется ГОСТ Р 58277-2018.

Поскольку при производстве ССС достаточно широко применяются тонкодисперсные наполнители (минеральные порошки) [4] различного, в т.ч. техногенного, происхождения [5-7], которые оказывают влияние как на технологические свойства готовых растворных смесей различного назначения, так и на строительно-технические свойства затвердевших строительных растворов [8], в т.ч. морозостойкость [9], исследования в области влияния различных наполнителей [10,11] и химических добавок [12] на строительно-технические свойства строительных растворов, особенно на показатели, обеспечивающие стойкость при эксплуатационных воздействиях, в частности, морозостойкость [13], разработка и анализ эффективности различных рецептур [14,15] при сочетании минеральных наполнителей с ретиспергируемыми полимерными порошками (РПП), которые вводятся в состав различных ССС, представляют актуальную задачу. С учетом ограниченности данных, полученных часто на ограниченной базе циклов замораживания и оттаивания [16,17], о влиянии рецептурных факторов на морозостойкость модифицированных строительных растворов, а также ограниченность рассматриваемых в исследованиях критериев морозостойкости, в частности, параметров пористости [18], прочности сцепления с основанием [19], целью настоящего исследования является сравнительный анализ результатов оценки морозостойкости модифицированных растворов из сухих строительных смесей, содержащих РПП и тонкодисперсные наполнители природного и техногенного происхождения, по таким критериям морозостойкости как изменение скорости ультразвука и динамического модуля упругости, пределов прочности при сжатии и изгибе, прочности сцепления с бетонным основанием.

Материалы и методика исследований. Экспериментальные исследования выполнены с использованием следующих материалов [9]:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016 активностью 51,9 МПа, далее Ц;

- песок для строительных работ с модулем крупности 1,23, далее П;
- минеральные добавки - шлам химводоочистки и опока в соотношении 1:1, далее МД; [9],
- водоудерживающая добавка «Mecellose 23701» в дозировке 0,3% от массы минеральной части смеси;
- РПП Vinavil E06PA в дозировке от 1 до 3% от массы минеральной части смеси.

Состав смеси представлен соотношением компонентов цемент:песок:минеральные добавки = 1:1,3:0,2 при соотношении воды к цементу 0,4. Такие свойства строительных растворов, как предел прочности при сжатии и изгибе, скорость ультразвука, динамический модуль упругости определены на образцах 40x40x160 мм. Изготовление и испытание образцов выполнено по ГОСТ 30744-2001. Процедура замораживания и оттаивания произведена по ГОСТ 31356-2007 с учетом положений ГОСТ 10060-2012 в части определение изменения показателей прочности при сжатии, динамического модуля упругости, скорости ультразвука. Число реализованных циклов замораживания и оттаивания для исследованных составов в зависимости от дозировки РПП составило от 100 до 125. Прочность сцепления с бетонным основанием и морозостойкость контактной зоны определены по ГОСТ 31356. Динамический модуль упругости определен по ГОСТ 10060-2012.

В качестве критериев морозостойкости после 100 циклов замораживания и оттаивания (F) рассматривались показатели, которые условно могут быть обозначены как прямые критерии, представленные в табл. 1:

- изменение динамического модуля упругости E (ГОСТ 10060-2012):

$$k_E = \frac{E_F}{E_0}; \quad (1)$$

- изменение скорости ультразвука V (ГОСТ 10060-2012):

$$k_V = \frac{V_F}{V_0}; \quad (2)$$

- изменение предела прочности при сжатии R (ГОСТ Р 58277-2018):

$$k_R = \frac{R_F}{R_0}; \quad (3)$$

- изменение предела прочности при сжатии с учетом внутрисерийного коэффициента вариации $R(v)$ (ГОСТ 10060-2012):

$$k_{R(v)} = \frac{R(v)_F}{R(v)_0}; \quad (4)$$

- изменение предела прочности при изгибе R_f (не нормируется):

$$k_{Rf} = \frac{R_{fF}}{R_{f0}}; \quad (5)$$

- изменение прочности сцепления с бетонным основанием A (морозостойкость контактной зоны, ГОСТ Р 58277-2018):

$$k_A = \frac{A_F}{A_0}. \quad (6)$$

Поскольку после 100 циклов замораживания и оттаивания не достигнуты предельные значения по нормируемым критериям морозостойкости, для дальнейшей оценки использован следующий подход:

- на первом этапе для прямых критериев k_E , k_V , k_R , $k_{R(v)}$, k_{Rf} получены зависимости $k_i = f(N)$ (в качестве примера на рис. 2 представлены зависимости значения критериев по ф.(1) от количества циклов замораживания и оттаивания N), которые описываются уравнением вида:

$$k_i = 1 + aN + bN^2, \quad (7)$$

параметры уравнения ф.(7) представлены в табл. 2, и на основании анализа уравнений ф.(7) для всех критериев определены при предельном значении критерия k_i ожидаемые значения числа циклов замораживания и оттаивания, представленные в табл. 3;

- на втором этапе в качестве критериев морозостойкости рассмотрены:

- капиллярная открытая пористость по ГОСТ 10060.4-95 (отменен):

$$\Pi_i = \frac{W_i - K_5 \Delta V_i \Pi_i}{10}. \quad (8)$$

- критерий Шейкина А.Е., Добшица Л.М. [4,7]:

$$K_{\text{мрз}} = \frac{\Pi_{\text{уз}}}{0,09 \cdot \Pi_{\text{н}}} \quad (9)$$

по которым определены ожидаемые значения числа циклов замораживания и оттаивания, представленные в табл. 3. Эти критерии условно могут быть обозначены как косвенные.

Результаты исследований. Значения критериев после 100 циклов замораживания и оттаивания представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Критерии морозостойкости

Критерий	Величина критерия при содержании РПП, %			
	0	1	2	3
$k_E (0,75)^*$	1,1	1,08	1,08	1,05
$k_V (0,85)$	1,05	1,04	1,04	1,03
$k_R (0,8)$	1,31	1,22	1,21	1,24
$k_{R(v)} (0,9)^{**}$	1,74	1,32	1,22	1,01
$k_{Rf} (?)^{***}$	0,83	0,8	0,73	0,74
$k_A (1,0)$	0,47	1,47	1,64	1,03

Примечание: * - предельное значение критерия морозостойкости; ** - по ГОСТ 10060-2012; *** - в нормативных документах отсутствует

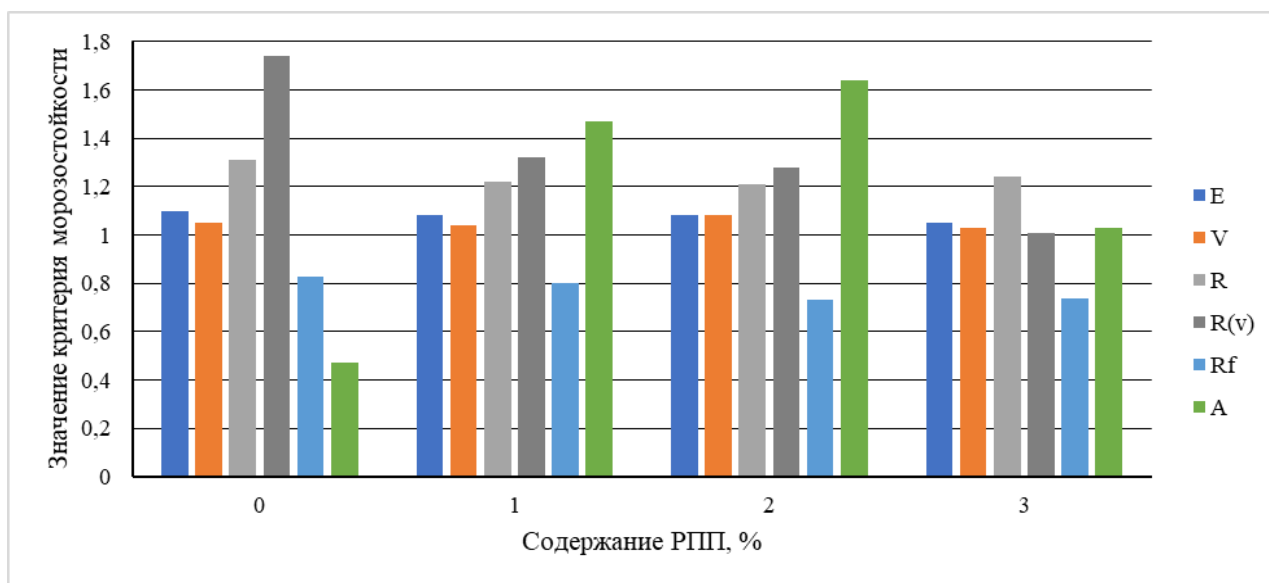


Рис. 1 - Значения критериев морозостойкости по табл. 1 после 100 циклов замораживания и оттаивания

В табл. 2 представлены параметры уравнений регрессии $\phi.(7)$, описывающих изменение показателя от числа циклов замораживания и оттаивания.

Таблица 2

Показатели уравнений регрессии $k_i = f(N)$

Критерий	Параметры уравнения $\phi.(1-6)$	Значения коэффициентов при содержании РПП, %			
		0	1	2	3
k_E	a	0,0015	0,0015	0,0027	0,0023
	b	$-5 \cdot 10^{-6}$	$-7 \cdot 10^{-6}$	$-2 \cdot 10^{-5}$	$-2 \cdot 10^{-5}$
	R^2*	0,916	0,908	0,931	0,925
k_V	a	0,0007	0,0009	0,0012	0,0011
	b	$-2 \cdot 10^{-6}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	$-8 \cdot 10^{-6}$	$-8 \cdot 10^{-6}$
	R^2*	0,953	0,888	0,937	0,935
k_R	a	0,0061	0,0067	не определены	
	b	$-3 \cdot 10^{-5}$	$-4 \cdot 10^{-5}$		
	R^2*	1	1		
$k_{R(v)}$	a	0,0178	0,0556	не определены	
	b	-0,0001	-0,0005		
	R^2*	1	1		
k_{Rf}	a	-0,0013	-0,002	-0,0024	-0,003
	b	0	0	0	0
	R^2*	0,856	0,999	0,925	0,972
k_A	a	-0,0045	0,0028	0,0186	-0,0038
	b	0	0	-0,0001	$4 \cdot 10^{-5}$
	R^2*	0,982	0,4	1	1

Примечание: * - показатель достоверности аппроксимации

На рис. 2 представлена зависимость изменения динамического модуля упругости от числа циклов замораживания и оттаивания. Подобные зависимости имеют место для таких критериев, как изменение скорости ультразвука, пределов прочности [9] и прочности сцепления с бетонным основанием.

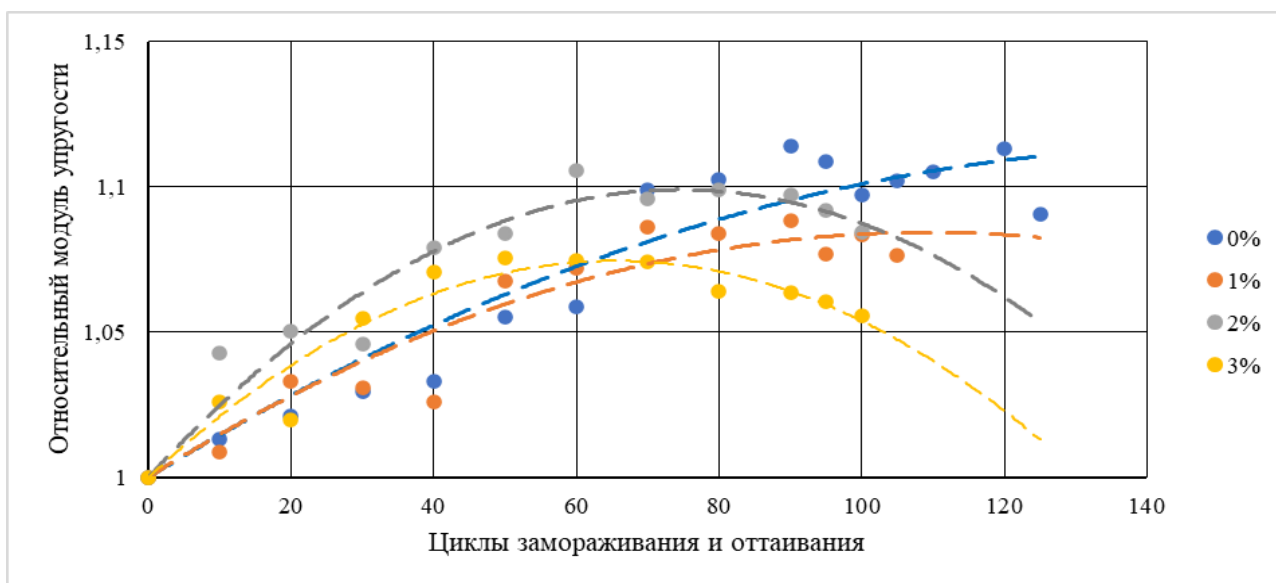


Рис. 2 - Изменение динамического модуля упругости в зависимости от числа циклов замораживания и оттаивания
 0...3% - содержание РПП

В табл. 3 представлены расчетные ожидаемые значения числа циклов замораживания и оттаивания, полученные по уравнениям регрессии ф.(7) с коэффициентами по табл.2. Поскольку нормами не регламентируется критерий морозостойкости по прочности при изгибе, в табл. 3 представлены для этого показателя значения при $[k_{Rf}] = 0,9$ по аналогии с $k_{R(v)}$ по ГОСТ 10060-2012 и 0,8 по ГОСТ Р 58277-2018.

На рис. 3 представлены значения относительной морозостойкости при оценке по различным критериям табл. 3:

$$k_F = \frac{F_{РПП}}{F_{\text{Э}}}, \quad (10)$$

где $F_{РПП}$, $F_{\text{Э}}$ – соответственно предельное расчетное ожидаемое значение числа циклов замораживания и оттаивания исследованных составов с РПП относительно бездобавочного эталона.

Таблица 3

Ожидаемые значения числа циклов замораживания и оттаивания

Критерий	Ожидаемые значения числа циклов замораживания и оттаивания при содержании РПП, %			
	0	1	2	3
k_E	$\frac{400-425^*}{325}$	$\frac{325^*}{240}$	$\frac{200^*}{150}$	$\frac{150-175^*}{130}$
k_V	500	325-350	225-250	225
k_R	210/230**	175/190**	не определены	
$k_{R(v)}$	180/185**	110/115**		
k_{Rf}	80/150***	50/100***	45/80***	35/65***
k_A	не определены		195	не определены
Π_i	155-285	230-310	155-285	190-300
$K_{мпз}$	550	635	560	620

Примечание: * - $[k_E] = 0,955/0,75$; при ** - при $[k_R] = 0,95/0,8$; *** - при $[k_R, k_{R(v)}, k_{Rf}] = 0,9/0,8$

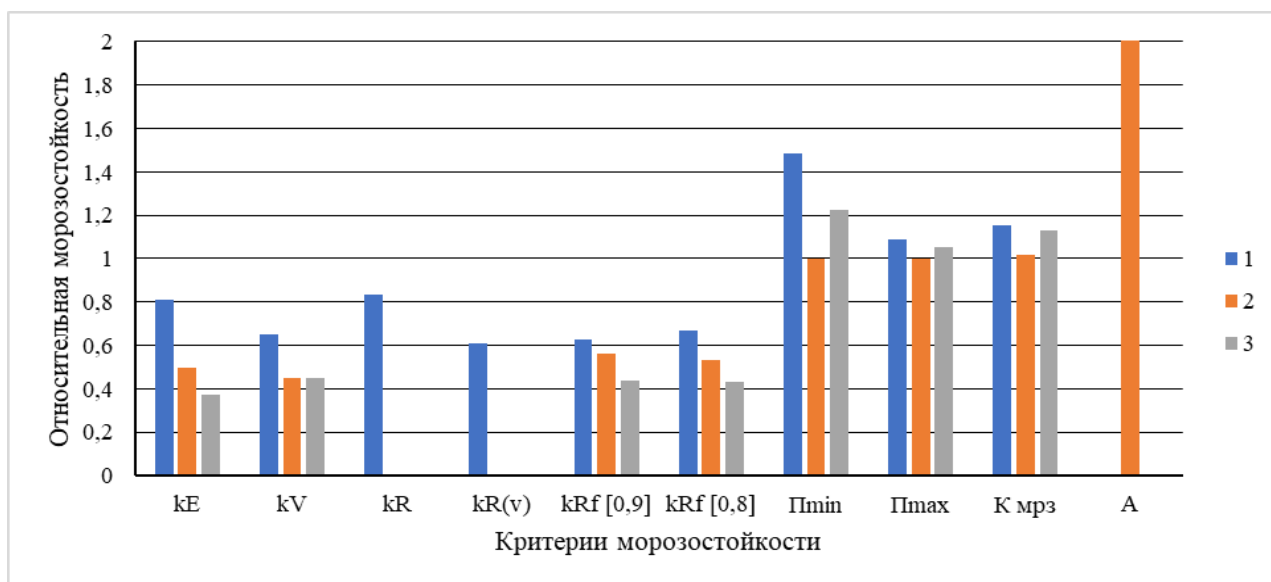


Рис. 3 Относительная прогнозируемая морозостойкость по различным критериям

1-3 – дозировка РПП, % от массы сухой смеси

Анализ результатов. Из представленных выше результатов можно сделать следующие выводы:

- после 100 циклов замораживания и оттаивания морозостойкость исследованных растворов с РПП не исчерпана по критериям прочности при сжатии, динамического модуля упругости, скорости ультразвука и прочности сцепления с бетонным основанием. Как уже отмечалось, по ГОСТ 31356-2013 для всех смесей, кроме клеевых, предусмотрена максимальная марка по морозостойкости контактной зоны $F_{кз}100$, а для клеевых по ГОСТ Р 56387-2018 испытания проводят на базе 25 циклов;
- РПП оказывает значительное положительное влияние на повышение морозостойкости контактной зоны;
- оценка по всем прямым критериям, кроме прочности сцепления с бетонным основанием, показывает негативное влияние РПП на морозостойкость исследованных строительных растворов;
- оценка по косвенным критериям не выявила негативного влияния РПП на морозостойкость, что в принципе не согласуется с предыдущим заключением, причем следует отметить, что отсутствие связи морозостойкости строительных растворов из сухих строительных смесей с критерием Шейкина А.Е., Добшица Л.М. отмечено в [18], хотя в [17] содержится несколько противоположная информация, в связи с чем исследования в этой области целесообразно продолжить;
- анализ данных табл.3 показывает, что в зависимости от критерия морозостойкости ожидаемое количество циклов замораживания и оттаивания может существенно различаться, при этом, безусловно, наибольшая достоверность результатов связана с критериями k_R и $k_{R(v)}$. По данным СП 63.13330.2018 зависимость модуля упругости мелкозернистого бетона от предела прочности при сжатии может быть описана формулой:

$$E = 9425 \ln(R) - 6170, \quad (11)$$

из которой следует, что при снижении модуля упругости на 25% (ГОСТ 10060-2012) снижение предела прочности при сжатии составит 44%. При снижении предела прочности при сжатии, например, 10 %, снижение модуля упругости составит 4,5%, при этом ожидаемое число циклов замораживания и оттаивания по критерию изменения динамического модуля упругости снизится на 17-30% относительно представленных в табл. 3 данных. Исследования в области взаимосвязки критериев морозостойкости целесообразно продолжить, что актуально не только для строительных растворов, но и бетонов [20];

- самым «жестким» критерием является k_{Rf} , исследования влияния рецептурных факторов на морозостойкость строительных растворов по этому критерию целесообразно продолжить.

Заключение. Исследованные строительные растворы с РПП и комплексной минеральной добавкой «шлам химводоочистки + опока» после 100 циклов замораживания и оттаивания по прямым критериям, а именно изменение скорости ультразвука, динамического модуля упругости, предела прочности при сжатии, прочности сцепления с бетонным основанием соответствуют марке F100. Возможность использования критериев по показателям пористости и выявление влияния рецептурных факторов на морозостойкость по критерию предела прочности при изгибе требует продолжения исследований. В зависимости от принятого прямого критерия морозостойкости и содержания РПП ожидаемое предельное число циклов замораживания и оттаивания может различаться до 7 раз.

Литература

1. Кузьмина В.П. Защита и ремонт железобетонных сооружений // Сухие строительные смеси. 2017. №2. С.23-25.
2. Коровкин М.О., Короткова А.А., Ерошкина Н.А. Ремонтные сухие строительные смеси для восстановления геометрических характеристик

железобетонных конструкций // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 5 (30). С. 122-128.

3. Логанина В. И. Сухие строительные смеси для реставрации зданий исторической застройки // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 3 (24). С. 34-42.

4. Кузьмина, В. П. Наполнители для сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2017. № 3. С. 8-15.

5. Каклюгин А. В., Боброва В. В., Валов М. П., Щербакова В. С. Использование шлама химводоочистки теплоэлектростанций в производстве строительных материалов и изделий // Молодой исследователь Дона. 2020. № 4(25). С. 28-33.

6. Несветаев Г. В., Козлов А. В., Козлов Г. А., Филонов И. А. Влияние некоторых минеральных добавок на свойства мелкозернистых бетонов // Инженерный вестник Дона. 2022. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7972.

7. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Granite dust as a mineral component of a dry cement mortar mixtures // Archives of Civil Engineering. 2020. Vol. 66. No 3. P. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.

8. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А. и др. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 82-85.

9. Несветаев Г.В., Хаджишалапов Г.Н., Животкова И.А. Морозостойкость строительных растворов из сухих строительных смесей с модификаторами// Инженерный вестник Дона. №10. 2024. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9569

10. Цюрбригген Р., Дильгер П. Дисперсионные полимерные порошки – особенности поведения в сухих строительных смесях // Строительные материалы. 1999. №3. С. 10-13.

11. Захезин А.Е., Черных Т.Н., Трофимов Б.Я., Крамра Л.Я. Влияние редиспергируемых порошков на свойства цементных строительных растворов // Строительные материалы. 2004. №10. С. 6-8.

12. Кудяков А.И., Белых С.А., Даминова А.М. Смеси сухие растворные цементные с микрогранулированной воздухововлекающей добавкой // Строительные материалы. 2010. №1. С. 52-54.

13. Серова Р.Ф., Кожас А.К. Влияние модифицирования на морозо и коррозиестойкость цементных материалов // Фундаментальные исследования. 2012. №9. С. 690-693.

14. Пичугин, А.П. Хританков В.Ф., Белан И.В. Разработка составов сухих строительных смесей с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник ВолГАСУ. 2014. №36 (55). С.68-77.

15. Саламанова М. Ш., Исмаилова З. Х., Окуева П. Х., Эскиев М. С. Анализ методов составления рецептур модифицированных сухих строительных смесей // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2017. № 4(8). С. 67-72.

16. Дворкин, Л. И., Дворкин О. Л, Чорная И. В. Кладочные растворы на основе сухих строительных смесей, содержащих цементную пыль // Сухие строительные смеси. 2012. № 5. С. 21-25.

17. Логанина В.И., Жегера К.В. Оценка морозостойкости плиточного клея на цементной основе с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2 (31). С. 32-36.

18. Долгова А. В. Зависимость морозостойкости модифицированных полимерами мелкозернистых бетонов от соотношения условно-закрытой и открытой капиллярной пористости // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6183.

19. Удодов С. А., Бычкова О.А. К вопросу о долговечности сцепления цементных растворов с легкобетонным основанием // International innovation

research: сборник статей VIII Международной научнопрактической конференции, Пенза, 27 апреля 2017 года. Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.). 2017. С. 42-45.

20. Несветаев, Г. В., Корянова Ю. И., Коллеганов А. В. Об оценке качества бетона монолитных конструкций по показателю морозостойкости // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2021. № 4. С. 1-11.

References

1. Kuz'mina V.P. Suhie stroitel'nye smesi. 2017. №2. pp.23-25.
2. Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina N.A. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii. 2020. № 5 (30). pp.122-128.
3. Loganina V. I. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 3 (24). pp. 34-42.
4. Kuz'mina, V. P. Suhie stroitel'nye smesi. 2017. № 3. pp. 8-15.
5. Kakljugin A. V., Bobrova V. V., Valov M. P., Shherbakova V. S. Molodoj issledovatel' Dona. 2020. № 4(25). pp. 28-33.
6. Nesvetaev G. V., Kozlov A. V., Kozlov G. A., Filonov I. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №11(95) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7972.
7. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Archives of Civil Engineering. 2020. Vol. 66. No 3. P. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.
8. Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Belikov D.A. i dr. Stroitel'nye materialy. 2014. № 7. pp. 82-85.
9. Nesvetaev G.V., Hadzhishalapov G.N., Zhivotkova I.A. Inzhenernyj vestnik Dona. №10. 2024. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9569
10. Cjurbriggen R., Dil'ger P. Stroitel'nye materialy. 1999. №3. pp. 10-13.
11. Zahezin A.E., Chernyh T.N., Trofimov B.Ja., Kramra L.Ja. Stroitel'nye materialy. 2004. №10. pp. 6-8.



12 Kudjakov A.I., Belyh S.A., Daminova A.M. Stroitel'nye materialy. 2010. №1. pp. 52-54.

13 Serova R.F., Kozhas A.K. Vlijanie modificirovanija na morozo i korroziestojkost' cementnyh materialov // Fundamental'nye issledovanija. 2012. №9. pp. 690-693.

14 Pichugin, A.P. Hritankov V.F., Belan I.V. Vestnik VolgGASU. 2014. №36 (55). pp.68-77.

15 Salamanova M. Sh., Ismailova Z. H., Okueva P. H., Jeskiev M. S. Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'. 2017. № 4(8). pp. 67-72.

16 Dvorkin, L. I., Dvorkin O. L, Chornaja I. V. Suhie stroitel'nye smesi. 2012. № 5. pp. 21-25.

17. Loganina V.I., Zhegera K.V. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2017. № 2 (31). pp. 32-36.

18. Dolgova A. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 9(60). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6183.

19. Udodov S. A., Bychkova O.A. International innovation research: sbornik statej VIII Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii, Penza, 27 aprelja 2017 goda. Penza: "Nauka i Prosveshhenie" (IP Guljaev G.Ju.). 2017. pp. 42-45.

20. Nesvetaev, G. V., Korjanova Ju. I., Kolleganov A. V. Jelektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". 2021. № 4. pp. 1-11.

Дата поступления: 13.12.2024

Дата публикации: 2.02.2025