

Морозостойкость строительных растворов из сухих строительных смесей с модификаторами

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

¹Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

²Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

Аннотация: Представлены результаты исследования влияния комплексной минеральной добавки «шлам химводоочистки + опока либо зола уноса» на морозостойкость строительных растворов в зависимости от дозировки РПП от 0 до 3%. Установлено, что после 100 циклов замораживания и оттаивания выполняется условие $R_F/R_0 > 1,2$, а значение $k = X_{min}^{II}/X_{min}^I$ по п. 5.2.4 ГОСТ 10060-2012 после 100 – 125 циклов замораживания и оттаивания составило от 0,94 до 1,73, минимальное значение относительного модуля упругости $E_F/E_0 = 0,97$, а деформация остаточного расширения не превысила 0,03%. Строительные растворы с золой уноса обладают более высокой морозостойкостью по критерию прочности при изгибе в сравнении с растворами с опоккой. Критерий морозостойкости по прочности при изгибе является более «жестким» относительно критериев по ГОСТ 10060-2012. Нецелесообразно применение дозировки РПП более 2% для производства строительных растворов с повышенными требованиями по морозостойкости.

Ключевые слова: морозостойкость строительных растворов, критерии морозостойкости, редиспергируемые полимерные порошки, прочность при сжатии и изгибе, модуль упругости, деформации остаточного расширения.

Объем производимых сухих строительных смесей (ССС) различного назначения на цементной основе составляет порядка 2/3 объема всех производимых в стране СССР [1-3]. Указанные СССР широко применяются, в т.ч. в условиях воздействия знакопеременных температур, при производстве общестроительных, специальных и ремонтно-восстановительных работ. Согласно п. 4.2.3 ГОСТ 31357-2007 морозостойкость является основным показателем качества затвердевшего раствора, а п. 4.13 стандарта устанавливает марки по морозостойкости затвердевших растворов от F15 до F400. По п.4.15 стандарта для показателя «морозостойкость контактной зоны» марки по морозостойкости контактной зоны составляют от F25 до F100. Морозостойкость контактной зоны нормируется в ГОСТ Р 56378-2015, ГОСТ Р 56387-2018, ГОСТ 33083-2014. Последний регламентирует и морозостойкость растворов.

Использование техногенных отходов взамен части минерального природного сырья при производстве ССС обеспечивает экологический и экономический эффекты [4-6], в связи с чем при производстве строительных растворов различного назначения применяются как активные, так и инертные минеральные добавки (МД) [7,8], в т.ч., комплексные. В состав многих ССС вводятся различные полимеры, в т.ч., ретиспергируемые полимерные порошки (РПП) и МД с целью повышения технологичности растворных смесей и регулирования свойств строительных растворов [9, 10], поскольку и РПП, и МД могут влиять на свойства как растворных смесей, так и затвердевших строительных растворов. В [11] приведены составы и свойства кладочных растворов с маркой по морозостойкости до F100. Составы не содержали РПП. В [12] предпринята попытка выявления зависимости между критерием морозостойкости (соотношение условно-закрытой и капиллярной пористости) на закономерность изменения предела прочности при сжатии и при изгибе от числа циклов замораживания и оттаивания. Выявленные зависимости имеют низкий показатель достоверности аппроксимации. В [13] приведены данные о влиянии РПП и низкомолекулярных включений на изменение свойств строительных растворов после 75 циклов замораживания и оттаивания. По данным [14] применение модифицированного коллоидного цементного клея обеспечило повышение морозостойкости до 3 раз. По данным [15] использование аморфных алюмосиликатов оказывает положительное влияние на морозостойкость плиточного клея в пределах 75 циклов. В связи с ограниченными данными о влиянии РПП и МД, особенно при совместном применении, на морозостойкость строительных растворов целью настоящего исследования является выявление закономерностей влияния комплексной МД, содержащей шлам химводоочистки (Ш) в сочетании с золой уноса (З) либо опокой (О) [10] на морозостойкость строительных растворов.

Минеральная часть ССС Ц:П:МД = 1:1,3:0,2; МД = (Ш = 0,1) + (О = 0,1) или (З = 0,1). Величина В/Ц = 0,4. В качестве РПП использован Vinavil E06РА при дозировке 0 – 3 % от массы минеральной части ССС. В качестве водоудерживающей добавки использована «Mecellose 23701» при дозировке 0,3% от минеральной части РПП во всех составах. Испытания на морозостойкость проведены в соответствии с ГОСТ Р 58277-2018. Использованы образцы призмы 40x40x160 мм. В качестве критериев морозостойкости рассматривались:

- изменение предела прочности при сжатии (ГОСТ 10060-2012);
- изменение динамического модуля упругости (ГОСТ 10060-2012, Приложение А);
- изменение деформаций (ГОСТ 10060-2012, Приложение А);
- изменение предела прочности при изгибе, стандартом не предусмотрено.

Определение динамического модуля упругости произведено по МИ 11-87. Методические указания. ГСИ. Прочностные и деформационные характеристики бетонов при одноосном кратковременном статическом сжатии и растяжении. Методика выполнения измерений.

На рис. 1 представлена зависимость относительной прочности при сжатии R_F/R_0 от числа циклов замораживания и оттаивания.

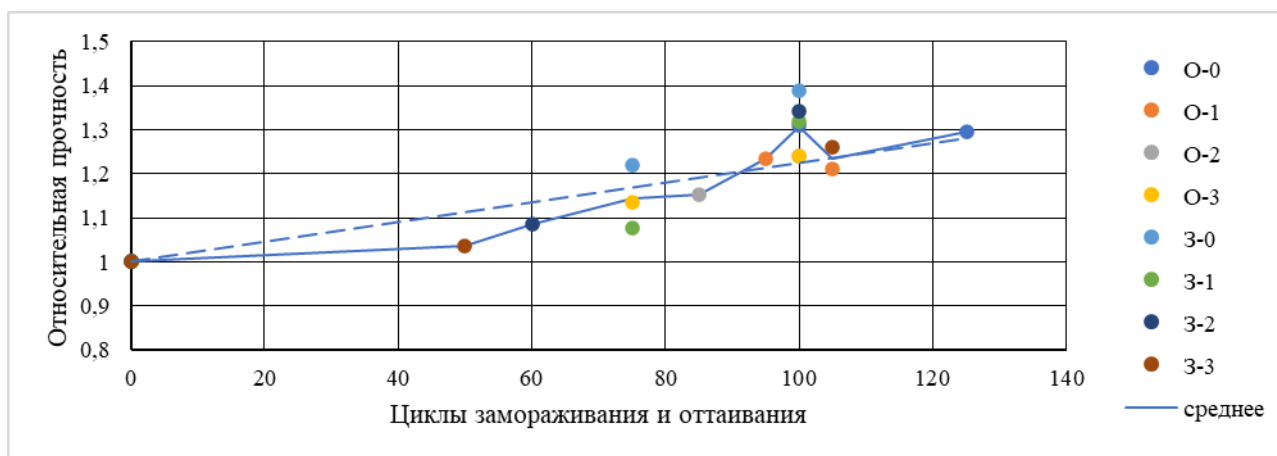


Рис. 1. – Зависимость относительной прочности при сжатии от числа циклов замораживания и оттаивания

О – опока; З – зола уноса; 0 – 3 – дозировка РПП, %

Зависимость относительной прочности при сжатии R_F/R_0 от числа циклов замораживания и оттаивания N на рис. 1 описывается уравнением:

$$\frac{R_F}{R_0} = 1 + 0,002N, \quad (1)$$

с достаточно высоким показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,855$.

На рис. 2 представлено влияние дозировки РПП на зависимость относительной прочности при сжатии от числа циклов замораживания и оттаивания. Зависимость относительной прочности при сжатии R_F/R_0 от числа циклов замораживания и оттаивания N на рис. 2 описывается уравнением:

$$\frac{R_F}{R_0} = 1 + aN + bN^2, \quad (2)$$

параметры которого представлены в табл. 1.

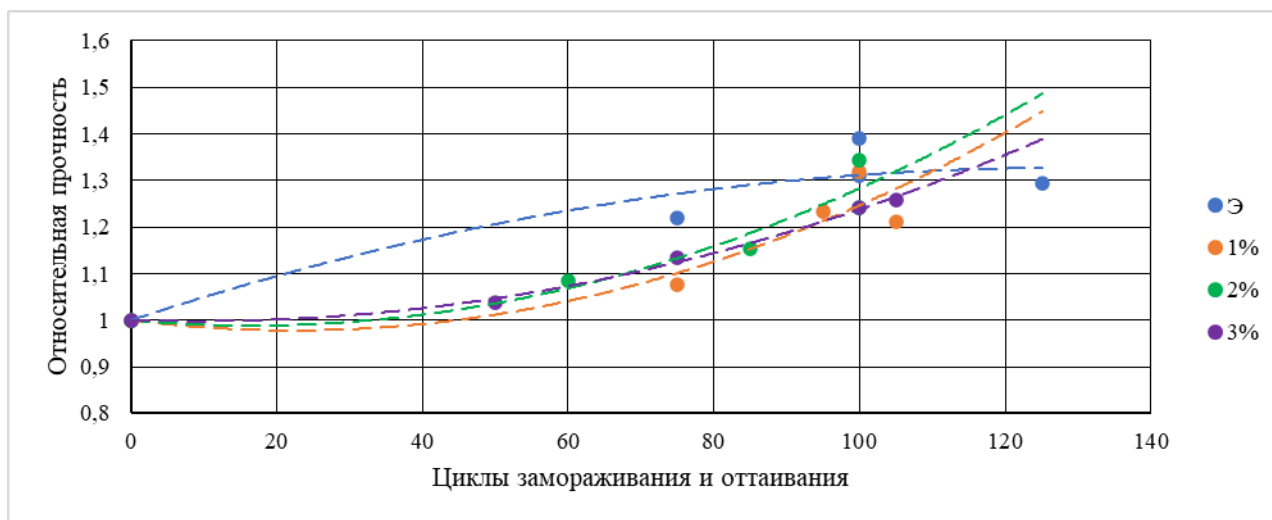


Рис. 2. – Зависимость относительной прочности при сжатии от числа циклов замораживания и оттаивания

Э – без РПП; 1 – 3 – дозировка РПП, %

Таблица № 1

Параметры уравнения ф.(2)

	Параметры уравнения		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²
Эталон	0,0051	-2·10 ⁻⁵	0,888
1% РПП	-0,002	4·10 ⁻⁵	0,828
2% РПП	-0,0014	4·10 ⁻⁵	0,905
3% РПП	-0,0005	3·10 ⁻⁵	0,996

Очевидно:

- тенденция изменения прочности при сжатии с ростом числа циклов замораживания и оттаивания зависит от содержания РПП;
- во всех исследованных составах после 100 циклов замораживания и оттаивания выполняется условие $R_F/R_0 > 1,2$, что позволяет предположить, что по критерию прочности при сжатии после 100 циклов замораживания и оттаивания морозостойкость не исчерпана, что подтверждают представленные в табл. 2 значения коэффициента

$$k = \frac{x_{min}^{II}}{x_{min}^I}, \quad (3)$$

определенные в соответствии с методикой обработки результатов испытаний по п. 5.2.4 ГОСТ 10060-2012 после 100 – 125 циклов замораживания и оттаивания.

Таблица № 2

Значения коэффициента *k* в ф.(3)

Показатель	Составы							
	О-0	О-1	О-2	О-3	З-0	З-1	З-2	З-3
<i>k</i> в ф.(3)	1,59	1,10	1,22	1,02	1,73	1,63	1,63	0,94

Примечания: О – опока, З – зола уноса, 0 – 3 – содержание РПП, %

Представленные в табл. 2 значения коэффициента k в ф.(3) позволяют сделать заключение о нецелесообразности применения дозировки РПП более 2% с точки зрения обеспечения морозостойкости.

На рис. 3 представлена зависимость относительного модуля упругости от числа циклов замораживания и оттаивания.

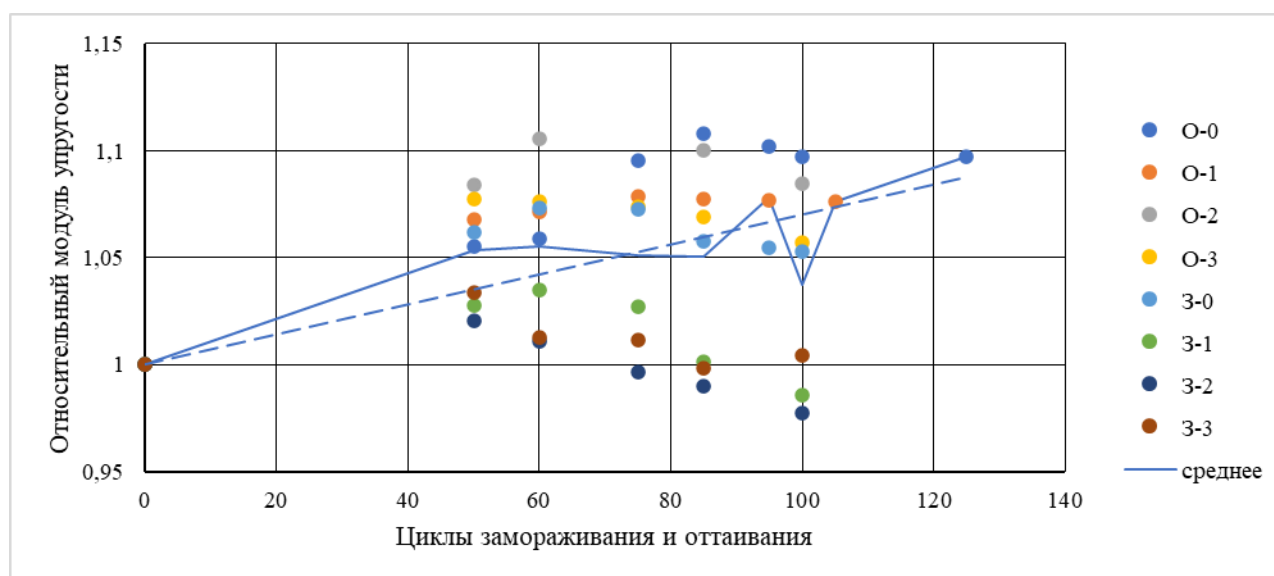


Рис. 3. – Зависимость относительного модуля упругости от числа циклов замораживания и оттаивания

O – опока; 3 – зола уноса; 0 – 3 – дозировка РПП, %

Зависимость относительного модуля упругости E_F/E_0 от числа циклов замораживания и оттаивания N на рис. 3 описывается уравнением:

$$\frac{E_F}{E_0} = 1 + 0,0007N, \quad (4)$$

с показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,7$, что свидетельствует о значительном влиянии на зависимость E_F/E_0 , помимо числа циклов замораживания и оттаивания, рецептурных факторов.

На рис. 4 представлено влияние дозировки РПП и вида минеральной добавки (опока или зола уноса) на зависимость относительного модуля упругости от числа циклов замораживания и оттаивания.

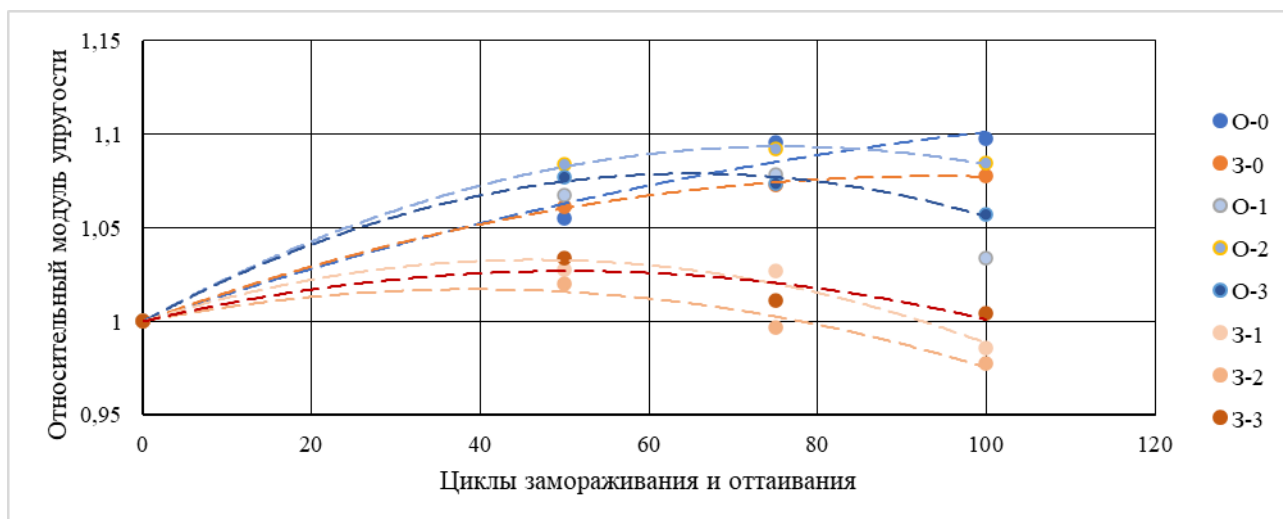


Рис. 4. – Зависимость относительного модуля упругости от числа циклов замораживания и оттаивания

О – опока; З – зола уноса; 0 – 3 – дозировка РПП, %

Зависимость относительного модуля упругости E_F/E_0 от числа циклов замораживания и оттаивания N на рис. 4 описывается уравнением:

$$\frac{R_F}{R_0} = 1 + cN + dN^2, \quad (5)$$

параметры которого представлены в табл. 3.

Таблица № 3

Параметры уравнения ф.(4)

	Параметры уравнения		
	c	d	R^2
Эталон	0,0015 / 0,0016*	$-5 \cdot 10^{-6} / -9 \cdot 10^{-6}$	0,972 / 0,999
1% РПП	-0,002 / 0,0014	$-2 \cdot 10^{-5} / -2 \cdot 10^{-5}$	0,828 / 0,936
2% РПП	0,0025 / 0,0009	$-2 \cdot 10^{-5} / -1 \cdot 10^{-5}$	0,999 / 0,935
3% РПП	0,0024 / 0,0011	$-2 \cdot 10^{-5} / -1 \cdot 10^{-5}$	0,996 / 0,996

Примечание: * - числитель – опока, знаменатель – зола уноса

Очевидно:

- качественная зависимость изменения модуля упругости от числа циклов замораживания и оттаивания подобна, количественная незначительно зависит от вида минеральной добавки, в экстремуме в составах с опокой $E_F/E_0 = 1,04$, с золой уноса $E_F/E_0 = 1,09$;

- после 100 циклов замораживания и оттаивания минимальное значение $E_F/E_0 = 0,97$ свидетельствует о том, что по критерию изменения модуля упругости после 100 циклов замораживания и оттаивания морозостойкость не исчерпана, поскольку по п. А.5 ГОСТ 10060-2012 критерием является значение $E_F/E_0 = 0,75$.

На рис.5 представлено влияние дозировки РПП и вида минеральной добавки (опока или зола уноса) на зависимость деформаций остаточного расширения от числа циклов замораживания и оттаивания.

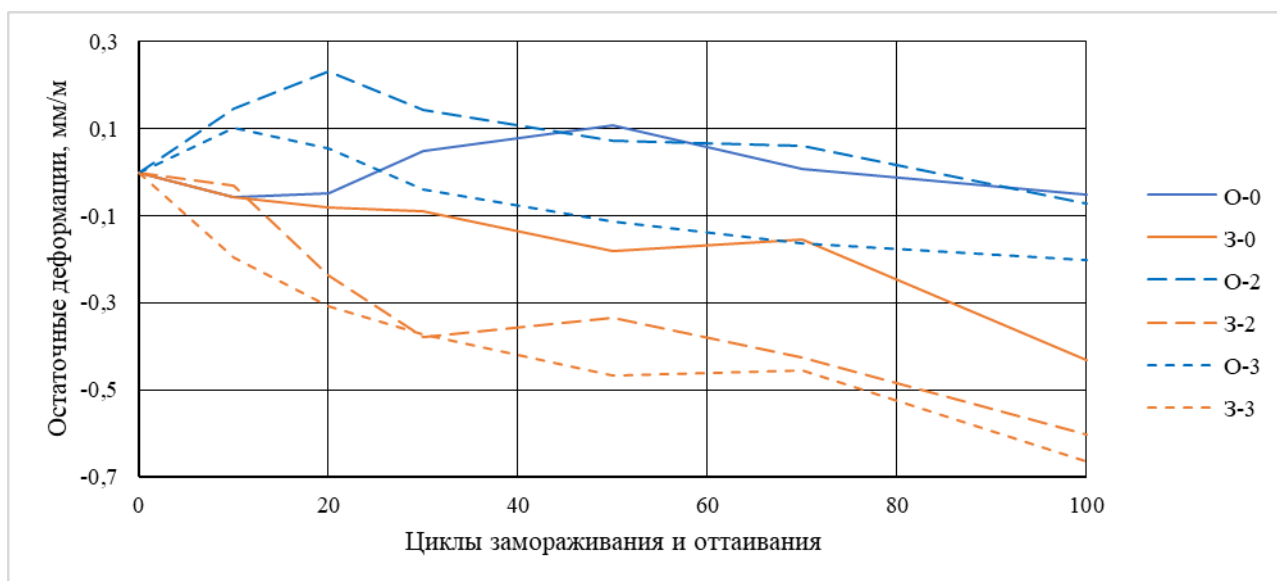


Рис. 5. – Зависимость деформаций остаточного расширения от числа циклов замораживания и оттаивания

О – опока; З – зола уноса; 0 – 3 – дозировка РПП, %

Из представленных на рис. 5 результатов очевидно, что после 100 циклов замораживания и оттаивания значения деформаций остаточного расширения не

превысили предельных величин по п. А.5 ГОСТ 10060-2012 0,1 % (1 мм/м), что свидетельствует о том, что по критерию деформаций остаточного расширения после 100 циклов замораживания и оттаивания морозостойкость не исчерпана.

На рис. 6 представлена зависимость относительной прочности при изгибе $R_{f,F}/R_{f,0}$ от числа циклов замораживания и оттаивания.

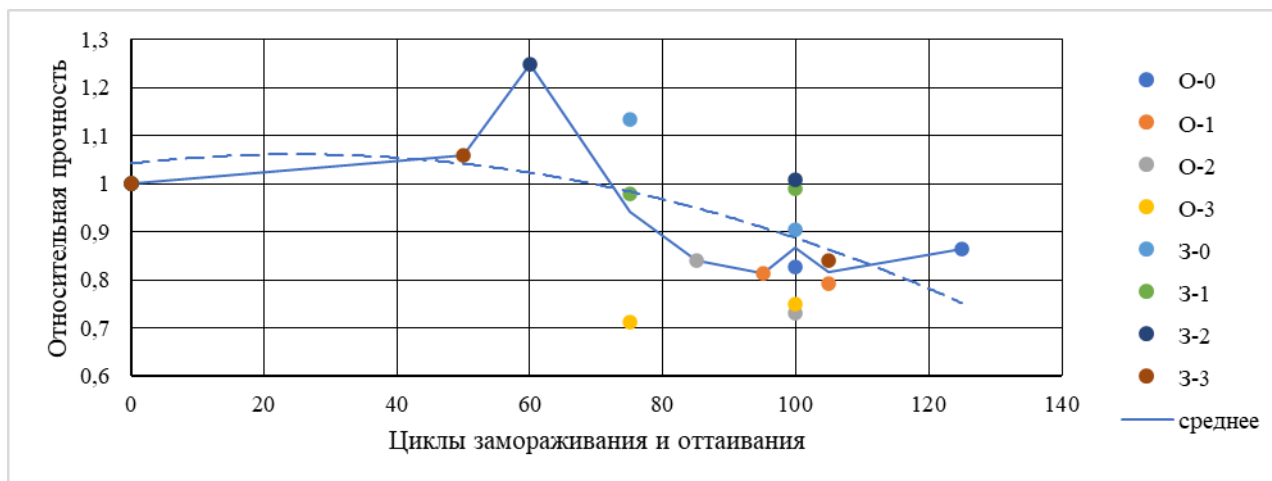


Рис. 6. – Зависимость относительной прочности при изгибе от числа циклов замораживания и оттаивания

O – опока; 3 – зола уноса; 0 – 3 – дозировка РПП, %

Зависимость относительной прочности при изгибе $R_{f,F}/R_{f,0}$ от числа циклов замораживания и оттаивания N на рис. 6 описывается уравнением:

$$\frac{R_{f,F}}{R_{f,0}} = 1,04 + 0,0015N - 3 \cdot 10^{-5}N^2, \quad (6)$$

с показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,45$, что свидетельствует о весьма значительном влиянии на зависимость $R_{f,F}/R_{f,0}$, помимо числа циклов замораживания и оттаивания, рецептурных факторов.

На рис. 7 представлено влияние дозировки РПП и вида минеральной добавки (опока или зола уноса) на зависимость предела прочности при изгибе $R_{f,F}/R_{f,0}$ от числа циклов замораживания и оттаивания. ГОСТ 10060-2012 не

предусматривает в качестве критерия морозостойкости изменение предела прочности при изгибе.

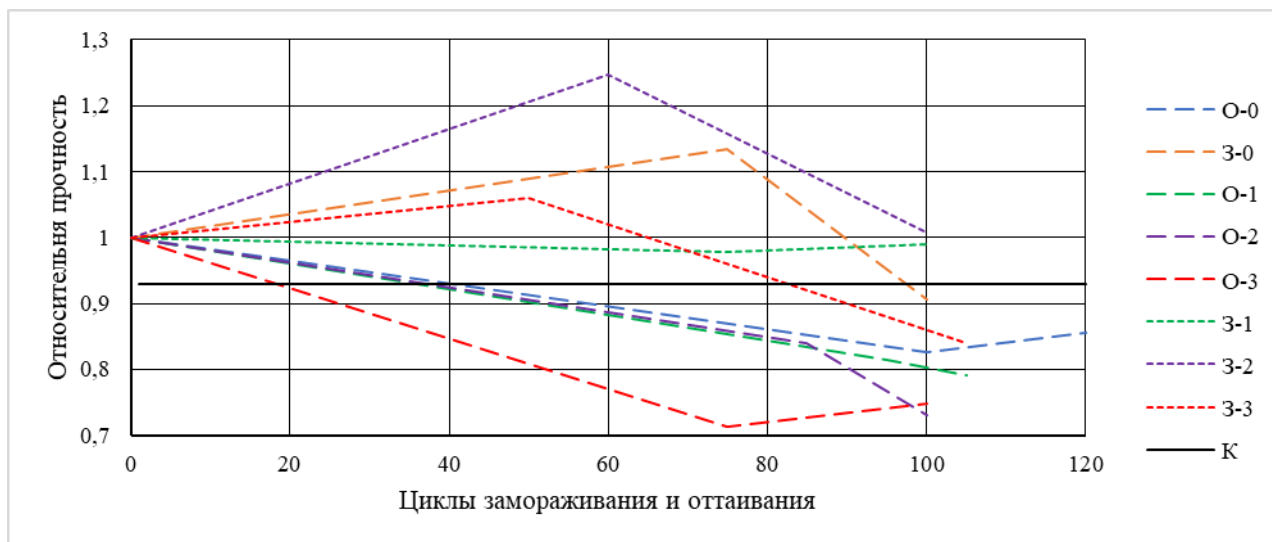


Рис. 7. – Зависимость относительной прочности при изгибе от числа циклов замораживания и оттаивания

О – опока; З – зола уноса; 0 – 3 – дозировка РПП, %; К – критерий морозостойкости при изгибе

Из представленных на рис. 7 результатов очевидно, что изменение величины $R_{f,F}/R_{f,0}$ зависит от вида минеральной добавки – составы с золой уноса показывают меньшее снижение показателя $R_{f,F}/R_{f,0}$ с ростом числа циклов замораживания и оттаивания. Поскольку ГОСТ 10060-2012 и ГОСТ Р 58277-2018 не предусматривают оценку морозостойкости по критерию прочности при изгибе, используем следующий подход. В ГОСТ Р 55224-2020 в табл. А.2 приведены значения пределов прочности при сжатии R и при изгибе R_f при стандартных испытаниях портландцементов. Зависимость R_f/R описывается уравнением:

$$\frac{R_f}{R} = 0,47R^{0,646} \quad (7)$$

с весьма высоким показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,964$.

Принимая в качестве критерия морозостойкости по прочности при сжатии, например, $R_F/R_0 = 0,9$, из ф.(7) получим критерий морозостойкости по прочности при изгибе $R_{fF}/R_{f0} = 0,93$. В табл. 4 представлены значения циклов замораживания и оттаивания по критерию прочности при изгибе исходя из представленных на рис. 7 результатов.

Таблица № 4

Морозостойкость по критерию прочности при изгибе

Показатель	Составы							
	О-0	О-1	О-2	О-3	З-0	З-1	З-2	З-3
Циклы при $R_{fF}/R_{f0} = 0,93$	40	38	39	19	98	>100	>100	81

Из представленных в табл. 4 и на рис.7 результатов следует:

- исследованные строительные растворы с золой уноса обладают более высокой морозостойкостью по критерию прочности при изгибе в сравнении с растворами с опоккой;
- применение РПП в дозировке более 2 % с точки зрения обеспечения морозостойкости по критерию прочности при изгибе нецелесообразно;
- критерий морозостойкости по прочности при изгибе является более «жестким» относительно критериев по ГОСТ 10060-2012.

Заключение

После 100 циклов замораживания и оттаивания выполняется условие $R_F/R_0 > 1,2$, а значение $k = X_{min}^{II}/X_{min}^I$ по п. 5.2.4 ГОСТ 10060-2012 после 100 – 125 циклов замораживания и оттаивания составило от 0,94 до 1,73, что позволяет сделать заключение, что по критерию прочности при сжатии морозостойкость исследованных строительных растворов после 100 циклов не исчерпана. После 100 циклов замораживания и оттаивания минимальное значение $E_F/E_0 = 0,97$ свидетельствует о том, что по критерию изменения модуля упругости после 100 циклов замораживания и оттаивания морозостойкость не исчерпана. Деформация остаточного расширения не более

0,03% после 100 циклов замораживания и оттаивания свидетельствует о том, что морозостойкость не исчерпана. Строительные растворы с золой уноса обладают более высокой морозостойкостью по критерию прочности при изгибе в сравнении с растворами с опокой. Критерий морозостойкости по прочности при изгибе является более «жестким» относительно критериев по ГОСТ 10060-2012. Нецелесообразно применение дозировки РПП более 2% при повышенных требованиях к морозостойкости растворов.

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. 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.
5. 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.
6. 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.

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

8. 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.

9. 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.

10. Несветаев Г.В., Животкова И.А. Влияние некоторых минеральных добавок на свойства мелкозернистых бетонов и строительных растворов // Инженерный вестник Дона, 2024. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9200.

11. 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.

12. 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.

13. Несветаев, Г. В., Долгова А. В. Влияние ретиспергируемых порошков и низкомодульных включений на морозостойкость растворов, полученных из сухих строительных смесей // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2020. №2. С. 58-64.

14. Серова Р.Ф., Кожас А.К., Тоимбаева Б.М. Влияние модифицирования на морозо- коррозиестойкость цементных материалов// Технические науки. Фундаментальные исследования. 2012. №9. С. 690-693.

15. 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.

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. Kakljugin A. V., Bobrova V. V., Valov M. P., Shherbakova V. S. Molodoj issledovatel' Dona. 2020. № 4(25). pp.28-33.
5. Nesvetaev G. V., Kozlov A. V., Kozlov G. A., Filonov I. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №11 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7972.
6. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Archives of Civil Engineering. 2020. Vol. 66. No 3. P. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.
7. Kuz'mina, V. P. Suhie stroitel'nye smesi. 2017. №3. pp. 8-15.
8. Salamanova M. Sh., Ismailova Z. H., Okueva P. H., Jeskiev M. S. Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'. 2017. №4(8). pp. 67-72.
9. Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Belikov D.A. Stroitel'nye materialy. 2014. №7. pp. 82-85.
10. Nesvetaev G.V., Zhivotkova I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9200.
11. Dvorkin, L. I., Dvorkin O. L, Chornaja I. V. Suhie stroitel'nye smesi. 2012. № 5. pp. 21-25.
12. Dolgova A. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6183.
13. Nesvetaev, G. V., Dolgova A. V. ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi. 2020. №2. pp. 58-64.



14. Serova R.F., Kozhas A.K., Toimbaeva B.M. Tehnicheskie nauki. Fundamental'nye issledovanija. 2012. № 9. pp. 690-693.

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

Дата поступления: 9.09.2024

Дата публикации: 29.10.2024