

## Влияние органоминерального модификатора на гидрофизические свойства тяжелых цементных бетонов, используемых при ремонте ГТС

*Е.М. Вишторский<sup>1</sup>, А.А. Ткачев<sup>2</sup>, С.А. Богомолов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва*

<sup>2</sup>*Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва*

**Аннотация:** Приведено исследование гидрофизических свойств модифицированных цементных бетонов, а именно морозостойкости и водонепроницаемости. Определены составы модифицированных бетонов для исследований. Установлено, что использование отхода производства минеральных удобрений в комплексе с суперпластификатором «Основит Сэйфскрин SPP1» позволяет повысить показатели морозостойкости, водонепроницаемости и прочности бетонных композитов.

**Ключевые слова:** тяжелый бетон, гидрофизические свойства, морозостойкость, водонепроницаемость, прочность, пористость, органоминеральный модификатор, отход, пластификатор.

### Введение

Тяжелые цементные бетоны являются основным конструкционным материалом в современном строительстве, при этом их долговечность в значительной степени определяется комплексом гидрофизических свойств [1]. Особое значение приобретает изучение взаимосвязи между структурными характеристиками и эксплуатационными показателями, в частности водонепроницаемостью и морозостойкостью, которая является критически важным параметром для сооружений ГТС, работающих в условиях переменного температурно-влажностного режима [2, 3].

В настоящее время особое внимание исследователей направлено на совершенствование свойств бетонных композитов за счет их модификации [4-6]. Научные изыскания в этой области ведутся по двум основным направлениям: применение химических добавок-модификаторов и введение минеральных добавок [7, 8]. Химические добавки-модификаторы позволяют целенаправленно изменять реологические свойства бетонных смесей и регулировать процессы структурообразования. Среди них особое значение

---

имеют пластифицирующие, воздухововлекающие и газообразующие добавки, способные существенно улучшить эксплуатационные характеристики бетона [9].

Не менее перспективным направлением является использование минеральных добавок, к которым относятся микрокремнезем, зола-унос, гранулированные доменные шлаки, отходы производства минеральных удобрений. Эти материалы, являясь продуктами промышленных отходов, не только повышают технические характеристики бетона, но и способствуют решению важной экологической задачи утилизации производственных отходов [10].

Морозостойкость бетона является интегральной характеристикой, зависящей от совокупности гидрофизических свойств. Основные механизмы разрушения при циклическом замораживании-оттаивании включают:

- 1) гидравлическое давление в порах;
- 2) осмотические процессы;
- 3) эффект переохлаждения воды.

Критическая степень насыщения пор водой, при которой начинается разрушение, составляет около 90%. Это объясняет важность контроля водопоглощения для обеспечения морозостойкости [11].

Целью работы является определение морозостойкости и водонепроницаемости тяжелых цементных бетонов, модифицированных органоминеральной добавкой на основе отхода производства минеральных удобрений.

### **Материалы и методы исследований**

В работе использовался отход производства минеральных удобрений, представляющий собой аморфный осадок кремниевой кислоты состава  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Данный материал характеризуется тонкодисперсной структурой и белым цветом. По данным рентгенофазового анализа, его основным

---

компонентом является аморфный диоксид кремния (не менее 90 %  $\text{SiO}_2$ ). В составе также идентифицированы незначительные примеси, включая фторид алюминия ( $\text{AlF}_3$ ) и следы кремнефтористоводородной кислоты ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ).

Органоминеральный модификатор представляет собой комплекс отхода производства минеральных удобрений вместе с пластифицирующей добавкой СП «Основит Сэйфскрин SPP1». В качестве вяжущего материала принят портландцемент типа ЦЕМ I 42,5Н, выпускаемый АО «Липецкцемент».

Исследования морозостойкости проводились в соответствии с базовой методикой, предусматривающей циклическое замораживание и оттаивание образцов в водонасыщенном состоянии, по ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Условия испытаний регламентированы следующим образом: температура воды для насыщения и оттаивания составляла  $20 \pm 2$  °С, а температура замораживания – минус  $18 \pm 2$  °С. Определение марки морозостойкости бетона осуществлялось на образцах-кубиках размерами  $100 \times 100 \times 100$  мм, достигших стандартного 28-суточного возраста. Соблюдался установленный режим испытаний: продолжительность замораживания – не менее 2,5 часов, оттаивания –  $2 \pm 0,5$  часа. Критерием прекращения испытаний служило образование визуально наблюдаемых дефектов, включая сколы, трещины и шелушение граней образцов.

Исследование водонепроницаемости бетонных образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 12730.5-2020 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» методом «мокрого пятна». Для каждого исследуемого состава изготовлено 6 цилиндрических образцов, которые перед испытанием подвергались подготовке: выдерживанию в камере нормального твердения при температуре  $(20 \pm 2)$ °С и относительной влажности воздуха  $(95 \pm 5)\%$  и кондиционированию в течение 24 часов в

---

воздушной среде с температурой  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ . Процедура испытаний включала ступенчатое повышение гидростатического давления с шагом 0,2 МПа.

### Результаты исследований

В рамках исследования влияния органоминеральной добавки на гидрофизические характеристики бетона, в частности на показатели морозостойкости и водонепроницаемости, была проведена серия экспериментов на образцах, изготовленных из равноподвижных бетонных смесей. Осадка стандартного конуса составила 5-10 см.

Контрольный состав №1 характеризовался следующим расходом материалов: ПЦ I - 365 кг, песок - 647 кг, щебень - 1209 кг, вода - 175 кг. Тяжелый бетон с 15 % содержанием ОМД (состав №5) следующим расходом материалов: ПЦ I - 315,1 кг, песок - 632 кг, щебень - 1178 кг, вода - 181 кг, суперпластификатор Основит Сэйфскрин SPP1 – 1% от массы цемента.

Органоминеральная добавка вводилась в состав бетонной смеси как определенная массовая доля портландцемента. Исследуемые составы и их физико-технические свойства представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Составы и свойства тяжелых цементных бетонов

№ Состава	Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Rсж, МПа в возрасте			Марка по морозостойкости (F)	Марка по водонепроницаемости (W)
			28 сут.	56 сут.	90 сут.		
1.	Контрольный состав	1924	54,3	61,4	74,4	100	10
2.	85%ПЦ+15%ОПМУ	2137	44,7	52,1	61,7	75	10
3.	70%ПЦ+30%ОПМУ	2115	36,4	40,6	47,3	50	6
4.	100%ПЦ+ +1%Основит	2213	59,0	66,7	77,5	300	12
5.	85%ПЦ+15%ОМД	2338	60,9	72,1	82,7	300	12
6.	70%ПЦ+30%ОМД	2377	52,7	65,2	74,2	300	12

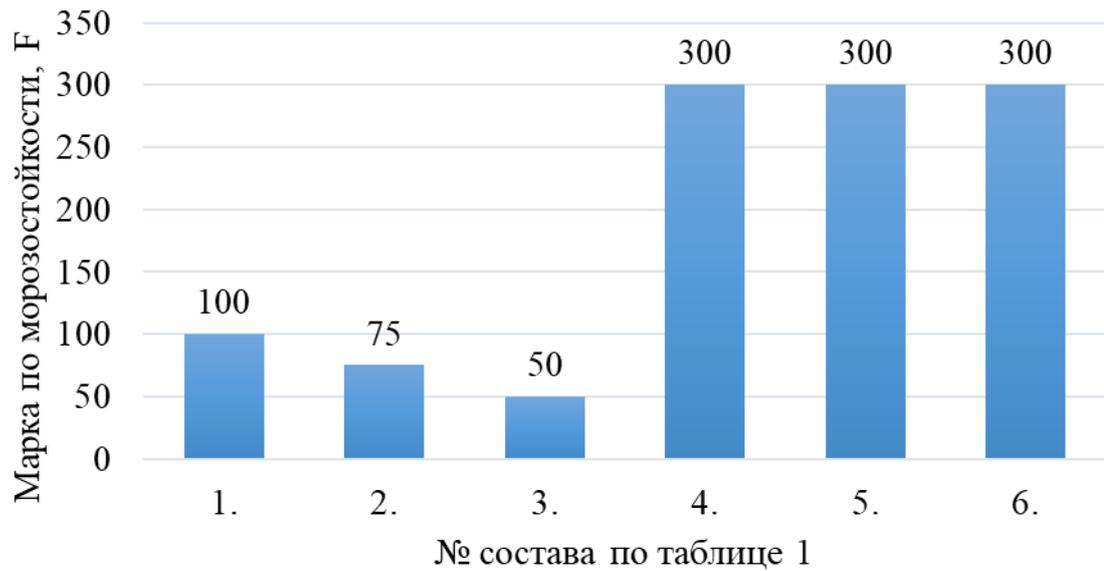


Рис. 1. Показатели морозостойкости тяжелых цементных бетонов

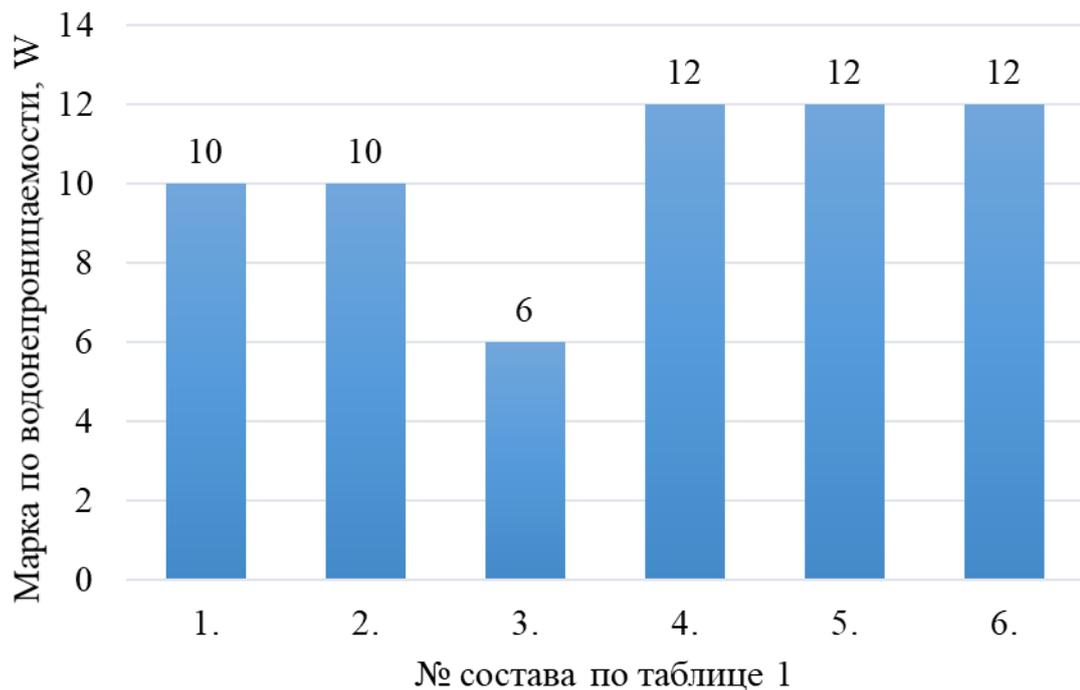


Рис. 2. Показатели водонепроницаемости тяжелых цементных бетонов

Как видно из таблицы 1 и рисунков 1 и 2, морозостойкость тяжелого бетона зависит от его состава, строения и в особенности от характера пористости. Согласно современным научным представлениям, механизм

разрушения бетона при циклическом замораживании-оттаивании обусловлен сложным взаимодействием физико-химических процессов, возникающих при фазовых переходах воды в пористой структуре материала. Ключевое значение имеет распределение пор по размерам, поскольку именно этот параметр определяет объем свободной воды, способной к кристаллизации, характер образования ледяных фаз и величину возникающих внутренних напряжений.

Предположительно, в микропорах тяжелого бетона обычно содержится связанная вода, которая не превращается в лед даже при очень низких температурах (до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), поэтому микропоры не оказывают заметного влияния на морозостойкость бетона. Последняя, главным образом, зависит от объема макропор в бетоне и от их строения.

### **Выводы**

Проведенные экспериментальные исследования демонстрируют значимый эффект от применения комплексного органоминерального модификатора на базе отходов производства минеральных удобрений в сочетании с суперпластификатором «Основит Сэйфскрин SPP1». Полученные результаты свидетельствуют о существенном улучшении ключевых эксплуатационных характеристик тяжелых цементных бетонов, а именно:.

- 1) Увеличение марки по морозостойкости с F100 до F300.
- 2) Увеличение марки по водонепроницаемости с W10 до W12
- 3) Увеличение показателей прочности при сжатии на 20%

Параллельно отмечается значительный технологический эффект, выражающийся в возможности снижения расхода вяжущего вещества до 15% без ухудшения качественных показателей бетона.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработки ресурсосберегающих технологий производства бетонных смесей с улучшенными эксплуатационными свойствами.

### Литература

1. Дворкин Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 369 с.

2. Вишторский Е. М., Ткачев А. А., Назарова А. В., Коваленко Д. С. Строительные материалы. Москва: Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва), 2024. 98 с. ISBN 978-5-605-12465-8. EDN TAUZIK.

3. Вишторский Е. М., Белов И. В., Назарова А. В. Высокофункциональные цементные бетоны для гидротехнического строительства // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023. № 1(67). С. 49-53. EDN MTKTKZ.

4. Ткач Е. В., Ю. С. Филимонова, Д. Р. Янкович, Паевский В. И. Исследование гидрофизических свойств тяжелого бетона, модифицированного комплексным модификатором и работающего в суровых условиях эксплуатации // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. 2024. № 4(24). С. 31-42. DOI 10.46573/2658-7459-2024-4-31-42. EDN NEYKGM.

5. Noor Syakila, & Nurazuwa. A Review on Mechanical and Durability Performance with Industrial Waste as Concrete Material. Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment, 3(1), pp 1977-1986. URL: [penerbit.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe/article/view/3051](http://penerbit.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe/article/view/3051).

6. AlKhatib Anas, Maslehuddin Mohammed, Al-Dulaijan Salah Uthman, Development of high performance concrete using industrial waste materials and nano-silica, Journal of Materials Research and Technology, Volume 9, Issue 3,

2020, pp 6696-6711, ISSN 2238-7854, doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.067. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420312345](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420312345).

7. Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Белякова Е. А. Применение модифицированных бетонов нового поколения в строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 1(86). С. 163-174. EDN WBCJXO.

8. Зайченко Н. М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой. Макеевка : ДонНАСА, 2009. 207 с.

9. Филимонова Ю.С., Ткач Е.В., Сусанина Т.В. Модифицированный бетон для гидромелиоративного строительства // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 4 (20). С. 34–44.

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](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9200).

11. Агафонова Н. З., Тайчинов Д. Р., Подопригоров П. А. Водонепроницаемость бетонного полотна // Инженерный вестник Дона, 2024, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9054](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9054).

## References

1. Dvorkin L. I. Stroitel'nyye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Construction materials from industrial waste]. Rostov n/D: Feniks, 2007. 369 p.

2. Vishtorskij E. M., Tkachev A. A., Nazarova A. V., Kovalenko D. S. Stroitel'nye materialy [Building materials]. Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - Moskovskaja sel'skohozjajstvennaja akademija im. K.A. Timirjazeva (Moskva), 2024. 98 p, ISBN 978-5-605-12465-8.



3. Vishtorskij E. M., Belov I. V., Nazarova A. V. Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalja. 2023. № 1(67). pp. 49-53. EDN MTKTKZ.
4. Tkach E. V., Ju. S. Filimonova, D. R. Jankovich, Paevskij V. I. Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo. Jelektrotehnika i himičeskie tehnologii. 2024. № 4(24). pp. 31-42. DOI 10.46573/2658-7459-2024-4-31-42. EDN NEYKGM.
5. Noor Syakila, & Nurazuwa. Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment, 3(1), pp 1977-1986. URL: penerbit.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe/article/view/3051.
6. AlKhatib Anas, Maslehuddin Mohammed, Al-Dulaijan Salah Uthman, Journal of Materials Research and Technology, Volume 9, Issue 3, 2020, pp 6696-6711, ISSN 2238-7854, doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.067. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420312345.
7. Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Beljakova E. A. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2022. № 1(86). pp. 163-174.
8. Zajchenko N. M. Vysokoprochnye tonkozernistye betony s kompleksno modificirovannoj mikrostrukturoj [High-strength fine-grained concretes with complexly modified microstructure]. Makeevka: DonNASA, 2009. 207 p.
9. Filimonova Ju.S., Tkach E.V., Susanina T.V. Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija «Stroitel'stvo. Jelektrotehnika i himičeskie tehnologii». 2023. № 4 (20). pp. 34–44.
10. Nesvetaev G. V., Zhivotkova I. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9200.
11. Agafonova N. Z., Tajchinov D. R., Podoprigorov P. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9054.

**Дата поступления: 2.03.2025**

**Дата публикации: 25.04 2025**