

Н.Э. УРМАНШИНА✉, З.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ул. Космонавтов, д. 1, г. Уфа, 450064, Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ ОПОР ПУТЕПРОВОДОВ

Аннотация

Введение. В статье рассматриваются возможности и перспективы использования модифицированного бетона для фундаментов опор путепроводов.

Цель. Исследование влияния различных добавок на сульфатостойкость бетона фундаментов опор мостов и путепроводов.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели были проведены испытания железобетонных образцов с введением различных добавок в бетонную смесь. В рамках исследования была выбрана модифицирующая добавка MasterLife® WP 3760. С использованием данной добавки были проведены эксперименты с ускоренной оценкой влияния на сульфатостойкость бетона на основе общестроительного портландцемента. В ускоренных испытаниях сульфатостойкости бетонов с исследуемой добавкой выполнялись в сравнении с бетонами того же состава, приготовленными на сульфатостойком и общестроительном портландцементе без дополнительных добавок. Водоцементное отношение во всех испытываемых составах оставалось постоянным.

Результаты. Образцы на общестроительном цементе с добавкой MasterLife® WP 3760 после выполнения заданных циклов испытаний в сульфатной среде показали снижение прочности при сжатии на 3 % от своих исходных значений. Остаточная прочность образцов бетона с добавкой MasterLife® WP 3760 составила 97 %, что превышает стойкость бетона на сульфатостойком цементе, остаточная прочность которого 94 %. Добавка MasterLife® WP 3760 является веществом, позволяющим значительно снизить проницаемость бетона за счет «закупорки» частицами вещества или новообразованиями пор и капилляров бетона, эти вещества за счет физических и химических процессов приводят к омоноличиванию, уменьшению проницаемости бетона и, как следствие, к росту морозостойкости и коррозионной стойкости.

Выводы. В результате действия добавки MasterLife® WP 3760 повышается коррозионная стойкость бетонов и растворов, в том числе и по отношению к сульфатной агрессии, за счет снижения водопроницаемости. Таким образом, появляется возможность устранения трещин в бетоне шириной раскрытия до 0,4 мм и продления долговечности бетона.

Ключевые слова: мостовые сооружения, модифицированный бетон, модификатор, сульфатостойкость бетона, водонепроницаемость бетона

Для цитирования: Урманшина Н.Э., Мухаметзянов З.Р. Обоснование применения модифицированного бетона для фундаментов опор путепроводов // *Бетон и железобетон*. 2024. № 3 (622). С. 20–25. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3\(622\)-20-25](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3(622)-20-25)

Вклад авторов

Урманшина Н.Э. – определен, обоснован и разработан алгоритм проведения экспериментальных исследований по изучению влияния добавок на сульфатостойкость бетона.

Мухаметзянов З.Р. – обобщены и систематизированы результаты проведенных исследований.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.06.2024

Поступила после рецензирования 03.07.2024

Принята к публикации 11.07.2024

N.E. URMANSHINA✉, Z.R. MUKHAMETZANOV
Ufa State Petroleum Technological University,
Kosmonavtov str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation

JUSTIFICATION FOR THE USE OF MODIFIED CONCRETE FOR FOUNDATIONS OF OVERPASS SUPPORTS

Abstract

Introduction. The article discusses the possibilities and prospects of using modified concrete for the foundations of overpass supports.

The aim is to study the effect of various additives on the sulfate resistance of the foundations of bridge supports and overpasses.

Materials and methods. To achieve this goal, tests of reinforced concrete samples were carried out with the introduction of various additives into the concrete mixture. As part of the study, a MasterLife® WP 3760 modifying additive was selected. Using this additive, experiments were conducted with an accelerated assessment of the effect on the sulfate resistance of concrete based on general-purpose Portland cement. In accelerated tests, the sulfate resistance of concretes with the studied additive was performed in comparison with concretes of the same composition prepared on sulfate-resistant and general-purpose Portland cement without additional additives. The water-cement ratio in all tested formulations remained constant.

Results. Samples made of general construction cement with the addition of MasterLife® WP 3760 after performing the specified test cycles in a sulfate medium showed a decrease in compressive strength by 3 % from their initial values. The residual strength of concrete samples with MasterLife® WP 3760 additive was 97 %, which exceeds the resistance of concrete to sulfate-resistant cement, the remaining strength of which is 94 %. The MasterLife® WP 3760 additive is a substance that significantly reduces the permeability of concrete due to "blockage" by particles of the substance or neoplasms of pores and capillaries of concrete, these substances due to physical and chemical processes lead to homologation, a decrease in the permeability of concrete, and, as a result, an increase in frost resistance and corrosion resistance.

Conclusion. As a result of the action of the MasterLife®

WP 3760 additive, the corrosion resistance of concretes and mortars increases, including resistance to sulfate aggression, by reducing water permeability. Thus, it becomes possible to eliminate cracks in concrete with an opening width of up to 0.4 mm and extend the durability of concrete.

Keywords: bridge structures, modified concrete, modifier, sulphate resistance of concrete, water resistance of concrete

For citation: Urmanshina N.E., Mukhametzyanov Z.R. Justification for the use of modified concrete for foundations of overpass supports. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 3 (622), pp. 20–25. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3\(622\)-20-25](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3(622)-20-25)

Authors contribution statement

Urmanshina N.E. – an algorithm for conducting experimental studies to study the effect of additives on the sulfate resistance of concrete has been determined, substantiated and developed.

Mukhametzyanov Z.R. – the results of the conducted research are summarized and systematized.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.06.2024

Revised 03.07.2024

Accepted 11.07.2024

Введение

На автомобильных дорогах РФ протяженностью порядка 1,4 млн км расположено более 42 тыс. мостовых сооружений различных годов постройки, норм проектирования, которые эксплуатируются в различных условиях. Из них свыше 29 тыс. мостовых сооружений и путепроводов – железобетонные. Пролетные строения и опоры мостовых сооружений, безусловно, являются элементами, определяющими их надежность и долговечность, но существенный вклад в обеспечение прочности и надежности вносит фундамент, на который опирается сооружение. Без прочных фундаментов невозможно судить о надежности любого сооружения. Фундаменты мостовых сооружений в основном эксплуатируются в сложных, порой агрессивных средах [1]. Например, они зачастую находятся во влажных условиях (с высоким УПВ) или в акватории [2, 3]. Это ведет к тому, что влага, окружающая фундамент, вымывает молекулы гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из бетона, тем самым разрушая его кристаллизационную структуру. Процесс начинается с поверхности бетонной конструкции, которая первая вступает в химическую реакцию с сульфатной кислотой, растворенной в грунтовой воде. Если концентрация кислоты мала, то процесс ее нейтрализации выделяющейся из бетона щелочью будет происходить в грунтовой массе, окружающем фундамент. С течением времени процесс выщелачивания нарастает, а граница коррозии продвигается в глубь фундамента, провоцируя тем самым его разрушение [4].

Введением оптимальных добавок в бетонную смесь при устройстве фундаментов пролетных строений мостов и путепроводов можно обеспечить надежность и долговечность сооружения в целом.

Постановка задачи исследования

Одним из основных путей обеспечения долговечности фундаментов мостовых сооружений и бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений является применение бетонов повышенной водонепроницаемости и морозостойкости [5]. В настоящее время современный бетон уже не является материалом, состоящим из традиционных четырех компонентов – воды, вяжущего, крупного и мелкого заполнителей. Сегодня бетон представляет собой сложный композиционный материал, в состав которого входят химические добавки и нанокomпоненты, целенаправленно улучшающие его свойства [6]. Применение модификаторов для улучшения и регулирования свойств бетона является одним из самых основных факторов, реализующих возможность получения высокопрочного и высококачественного бетона [7, 8].

Введение модификаторов повышает сульфатостойкость бетона. Для этого в отечественной практике применяют большое количество модификаторов. Но для выбора наиболее рациональной добавки с

целью достижения оптимального эффекта повышения прочности и стойкости бетонной конструкции необходимо проведение дополнительных сравнительных экспериментальных исследований.

Экспериментальная часть

Для повышения водонепроницаемости бетона рекомендуется применять высоководоредуцирующие добавки с целью снижения водоцементного отношения. Лучший эффект достигается при соблюдении водоцементного отношения В/Ц не более 0,5.

В рамках исследования была выбрана модифицирующая добавка MasterLife® WP 3760, так как данная добавка, по предварительным характеристикам, представляет собой наиболее приемлемый вариант для решения поставленной задачи среди конкурентов, которую, возможно, можно будет предложить для замены сульфатостойкого цемента на обычный портландцемент с применением этой добавки [9, 10].

Добавка MasterLife® WP 3760 совместима со шлаком, золой-уноса и микрокремнеземом. С использованием данной добавки были проведены эксперименты с ускоренной оценкой влияния на сульфатостойкость бетона на основе общестроительного портландцемента.

В ускоренных испытаниях сульфатостойкости бетонов с исследуемой добавкой выполнялись в сравнении с бетонами того же состава, приготовленными на сульфатостойком и на общестроительном портландцементе без дополнительных добавок (табл. 1). Водоцементное отношение во всех испытываемых составах оставалось постоянным.

Суть ускоренного метода испытаний заключается в выдерживании образцов в растворе с сульфат-ионами при переменных температурных условиях с последующим испытанием на сжатие и сравнением с прочностью контрольных образцов, хранившихся в нормальных условиях.

Для подбора состава бетона исследуемых на сульфатостойкость образцов были выполнены лабораторные замесы бетонной смеси по рецептуре прототипа с последующей проверкой заданных показателей качества. При достижении заданных характеристик из приготовленной бетонной смеси были отобраны пробы растворной части путем просеивания бетонной смеси через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

Для отобранной растворной части определен распыл конуса [11]. Основные образцы на сульфатостойкость изготовлены из цементно-песчаных смесей по заданному составу, приведенному в табл. 1, путем исключения из рецептуры крупного заполнителя и с поправкой водоцементного отношения согласно заранее определенному значению распыла конуса на растворной части бетонной смеси, изготовленной по рецептуре прототипа [11].

Все изготовленные для испытаний образцы твердели 28 суток в нормальных влажностных условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(95 \pm 5)\%$.

Исследование проводилось в следующем порядке:

1. Отобрали по три серии по три образца в каждой из изготовленных образцов исследуемых составов.

2. Образцы высушили до постоянной массы при температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ и измерили их геометрические параметры.

3. Основные образцы разместили в коррозионно-стойких емкостях, одну серию полностью погрузили в раствор агрессивной среды, а другую – в дистиллированную воду.

4. Основные образцы выдержали в средах заданное количество циклов переменного термостатирования при температурах от $+1$ и до $+60^\circ\text{C}$.

5. Образцы извлекались из сред, высушивались при температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

6. Образцы взвешивались, измерялись и испытывались на прочность при сжатии.

7. Контрольные образцы исследуемых составов весь срок выполнения испытаний хранили в нормальных влажностных условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(95 \pm 5)\%$.

Результат исследований

Результаты экспериментальной ускоренной оценки влияния добавок на сульфатостойкость бетона представлены в табл. 2.

Анализируя результаты эксперимента, можно сделать следующие выводы:

1. Испытанные бетонные образцы на сульфатостойком и общестроительном цементах после выполнения циклов испытаний в сульфатной среде показали снижение прочности при сжатии на 6 и 11 % соответственно от исходных значений.

2. Испытанные образцы на общестроительном цементе с добавкой MasterLife® WP 3760 после выполнения заданных циклов испытаний в сульфатной среде показали снижение прочности при сжатии на 3 % от своих исходных значений.

3. Остаточная прочность образцов бетона с добавкой MasterLife® WP 3760 составила 97 %, что превышает стойкость бетона на сульфатостойком цементе, остаточная прочность которого 94 %.

4. Согласно полученным результатам, а также на основании дополнительно проанализированных данных, добавка MasterLife® WP 3760 является материалом, позволяющим значительно снизить проницаемость бетона за счет «закупорки» частицами вещества или новообразованиями пор и капилляров бетона. Этот материал за счет физических и химических процессов приводит к уменьшению проницаемости бетона за счет способности «залечивать» трещины шириной до 0,4 мм и, как следствие, обеспечивает коррозионную стойкость бетонной конструкции.

5. Снижение проницаемости бетона позволяет предотвратить коррозию арматурных каркасов и всей арматуры железобетонной конструкции в целом.

Выводы

Представленные результаты испытания показывают эффективность действия добавки MasterLife® WP 3760 по обеспечению коррозионной стойкости бетонов, в том числе и по отношению к сульфатной агрессии, за счет снижения водонепроницаемости.

Снижение проницаемости подтверждается результатами испытаний по определению марки по водонепроницаемости, что подтверждает эффективность действия добавки MasterLife® WP 3760.

Предлагаемая добавка MasterLife® WP3760 снижает проницаемость бетона по отношению к воде и другим жидкостям, способствует залечиванию трещин в бетоне шириной раскрытия до 0,4 мм, продлевает долговечность бетона.

Список литературы

1. Урманшина Н.Э., Мулюков Э.И., Кармышева К.Р. Компоненты грунтов: силикаты, соли простые, сульфиды природные. Мат-лы XIII Межд. научно-техн. конф. при XIII Межд. специализир. выставке: «Архитектура. Строительство. Коммунал. хоз-во. – 2009». Уфа: УГНТУ, 2009. Т. 2. С. 35–39.

Таблица 1
Table 1

Исходные данные для состава модифицированного бетона
Initial data for the composition of modified concrete

Обозначение состава бетонной смеси/маркировка образцов бетона	Фактический состав смеси, г				
	количество и вид вяжущего	песок	щебень	вода	характеристика образца
Состав № 1/Б-1	450 г, ЦЕМ II/A-Ш 42,5 Н СС	765	–	180	Сульфатостойкий портландцемент
Состав № 2/Б-2	450 г, ЦЕМ II 42,5 Н	765	–	180	Общестроительный портландцемент
Состав № 3/Б-3	450 г, ЦЕМ I 42,5 Н	765	–	180	MasterLife® WP 3760

2. Урманшина Н.Э., Мулюков Э.И. Классификация видов воды в приповерхностной зоне земной коры и влажностные свойства строительных грунтов // *Вестник АН РБ*. 2012. Т. 17. № 1. С. 20–28.

3. Урманшина Н.Э., Мулюков Э.И., Ибрагимова Р.А. Классификация видов воды в приповерхностной зоне земной коры. Мат-лы XVI Межд. научно-техн. конф. «Проблемы строительного комплекса России» 14–16 марта 2012. Уфа: УГНТУ, 2012. С. 150–161.

4. Волошина Н.А. Механизм сульфатной коррозии и способы защиты бетона // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2007. № 17. С. 229–231.

5. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования (с Поправкой). Москва: ООО «Стройинформиздат», 2018.

6. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.

7. Садыхова А.Р. Пути повышения прочности и сульфатостойкости бетонов // *Инновации и Инвестиции*. 2018. № 1. С. 223–225.

8. Урманшина Н.Э., Мухаметзянов З.Р. Об исследовании значимости отдельных элементов комбинированного свайного фундамента // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. № 3 (34). С. 134–143. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-134-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-134-143)

9. ГОСТ Р 56687-2015. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Метод определения сульфатостойкости бетона (переиздание). Москва: Стандартинформ, 2019.

10. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020.

11. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями № 1, 2). Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003.

References

1. Urmanshina N.E., Mulyukov E.I., Karmysheva K.R. Soil components: silicates, simple salts, natural sulfides. Materials XIII Int. scientific-technical conf. at XIII Int. specialist exhibition: "Architecture. Construction. Communal. household – 2009". Ufa: USNTU, 2009. Vol. 2, pp. 35–39. (In Russian).

Таблица 2

Table 2

Результаты экспериментальной ускоренной оценки влияния добавок на сульфатостойкость бетона
The results of an experimental accelerated assessment of the effect of additives on the sulfate resistance of concrete

Обозначение состава	Контрольные					Основные образцы, выдержанные в среде														Остаточная прочность бетона при сжатии, отношение средней прочности образцов в серии после испытаний к прочности контрольных, %		
						Водный раствор с концентрацией сульфат-иона 37344 мг/дм³								Дистиллированная вода								
	№ образца	Размеры А/В, мм		Масса сухих образцов, г	Прочность при сжатии, МПа	№ образца	Размер А/В, мм		Среднее изменение размеров Δ, %	Масса сухих образцов, г		Среднее изменение массы Δ, %	Прочность при сжатии, МПа	№ образца	Размер А/В, мм		Среднее изменение размеров Δ, %	Масса сухих образцов, г			Среднее изменение массы Δ, %	Прочность при сжатии, МПа
							До	После		До	После				До	После		До	После			
Состав № 1	5	30,45	30,29	58,75	64,9	5	30,29/30,27	30,75/30,69	1,62	58,17	60,39	3,90	60,7	1	30,32/30,34	30,35/30,34	0,04	57,82	58,77	1,60	83,3	60,3/63,9 = 94 %
	13	30,15	30,26	58,29	62,4	6	30,2/30,06	30,78/30,52		57,78	60,03		57,1	3	30,12/30,23	30,13/30,25		57,69	58,61		84,4	
	2	30,34	30,14	30,14	62,9	7	30,15/30,08	30,70/30,55		58,5	60,71		60,0	4	30,14/30,15	30,14/30,16		57,91	58,81		83,1	
Состав № 2	13	30,16	30,18	57,83	58,4	5	30,15/30,51	30,75/30,69	1,40	58,78	60,98	3,64	52,0	1	30,07/30,22	30,10/30,23	0,05	56,87	57,70	1,46	70,2	52,9/59,4 = 89 %
	15	30,05	30,32	57,68	60,0	6	30,28/30,17	30,78/30,52		57,74	59,80		48,0	3	30,0/30,03	30,02/30,04		56,35	57,20		69,3	
	16	30,09	30,44	58,83	58,9	7	30,05/30,09	30,70/30,55		57,38	59,46		53,8	4	30,02/30,10	30,02/30,12		56,33	57,10		71,8	
Состав № 3	6	30,09	30,01	54,72	50,9	4	30,11/30,21	30,75/30,69	1,18	55,21	57,40	4,19	47,6	1	30,14/30,09	30,17/30,10	0,04	55,28	56,10	1,51	62,7	49,7/51,1 = 97 %
	10	30,09	30,07	55,85	51,3	5	30,19/30,21	30,78/30,52		55,23	57,60		49,6	2	30,17/30,28	30,19/30,28		55,0	55,90		62,7	
	16	30,16	30,05	55,73	50,2	7	29,88/30,28	30,7/30,55		55,06	57,40		49,8	3	30,15/30,03	30,16/30,04		55,51	56,40		61,1	

2. Urmanshina N.E., Mulyukov E.I. On classifying the types of water in the near-surface layer of the earth's crust and moisture properties of soils on construction sites. *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2012, vol. 17, no. 1, pp. 20–28. (In Russian).

3. Urmanshina N.E., Mulyukov E.I., Ibragimova R.A. Classification of types of water in the near-surface zone of the earth's crust. Materials of the XVI Int. scientific-technical conf. "Problems of the Russian construction complex" March 14–16, 2012. Ufa: USNTU, 2012, pp. 150–161. (In Russian).

4. Voloshina N.A. The mechanism of sulfate corrosion and methods of protecting concrete. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2007, no. 17, pp. 229–231. (In Russian).

5. State Standard 31384-2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical requirements (as amended). Moscow: Sroyinformizdat LLC Publ., 2018. (In Russian).

6. State Standard 26633-2015. Normal-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).

7. Sadikhova A.R. Ways to increase the strength and sulfate resistance of concrete. *Innovacii and Investicii*. 2018, no. 1, pp. 223–225. (In Russian).

8. Urmanshina N.E., Mukhametzyanov Z.R. Study into the significance of individual elements in a piled-raft foundation. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022, no. 3 (34), pp. 134–143. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-134-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-134-143)

9. State Standard R 56687-2015. Protection of concrete and reinforced concrete constructions from corrosion. Test method of sulfate resistance of concrete (Reprint). Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).

10. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).

11. State Standard 310.4-81. Cements. Methods of bending and compression strength determination (with Amendments No. 1, 2). Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2003. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Наталья Эдуардовна Урманшина✉, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа

e-mail: adtsp@mail.ru

тел.: +7 (917) 347-62-40

Natalia E. Urmanshina✉, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Highways, Bridges and Transport Structures, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

e-mail: adtsp@mail.ru

tel.: +7 (917) 347-62-40

Зинур Ришатович Мухаметзянов, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа

e-mail: zinur-1966@mail.ru

тел.: +7 (917) 780-35-05

Zinur R. Mukhametzyanov, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Highways, Bridges and Transport Structures, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

e-mail: zinur-1966@mail.ru

tel.: +7 (917) 780-35-05

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author