

Е.М. ВИШТОРСКИЙ^{1,2}, И.В. БЕЛОВ^{1,✉}, А.А. ТКАЧЕВ¹

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., д. 49, Москва, 127550, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКУЧЕСТИ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРАМИ

Аннотация

Введение. Обеспечение надежной работы гидротехнических сооружений неразрывно связано с обеспечением прочности и долговечности их конструкций. Для работы гидротехнических сооружений характерны длительные сроки эксплуатации, поэтому обеспечение долговечности является основой надежной эксплуатации сооружений. В современной практике проектирования бетонов существует несколько методов повышения плотности, прочности и влагостойкости бетона, в том числе использование пластифицирующих добавок.

Цель. Изучение текучести цементного теста, модифицированного современными химическими добавками-пластификаторами.

Материалы и методы. В качестве вяжущего материала использован портландцемент типа ЦЕМ I 42,5Н. Для определения показателей текучести цементного теста применялись суперпластификаторы отечественного и импортного производства: BASF MasterGlenium ACE 430, BASF MasterGlenium 808 PAV, Sika Sikament BV 3M, СП Основит Сэйфскрин SPP1. Методика включала комплексный обзор литературных источников, стандартизованных методик определения расплыва цементного теста (с помощью прибора Суттарда) и подбора составов.

Результаты. Установлено, что использование эффективных суперпластификаторов в оптимальных дозировках позволяет значительно повысить текучесть цементного теста. Применение BASF MasterGlenium ACE 430 в дозировке 1,5 % увеличивает начальный расплыв в 5,5 раза, а через 120 минут диаметр расплыва превышает контрольный состав в 4,5 раза. Использование BASF MasterGlenium 808 PAV в дози-

ровке 0,9 % повышает начальный расплыв в 2,9 раза, достигая максимума (236 мм) через 60 минут.

Выводы. Применение эффективных суперпластификаторов в оптимальных дозировках позволяет значительно улучшить текучесть цементного теста, что важно для обеспечения качественного бетонирования сложных гидротехнических конструкций. Результаты исследования вносят вклад в развитие технологий повышения надежности и долговечности гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: гидротехнический бетон, портландцемент, суперпластификатор, водоцементное отношение, химическая добавка, текучесть во времени, расплыв

Для цитирования: Вишторский Е.М., Белов И.В., Ткачев А.А. Исследование текучести цементного теста для гидротехнического бетона при модифицировании суперпластификаторами // *Бетон и железобетон*. 2024. № 5 (624). С. 45–52. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5\(624\)-45-52](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5(624)-45-52). EDN: BPRIUM

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.09.2024

Поступила после рецензирования 28.10.2024

Принята к публикации 07.11.2024

E.M. VISHTORSKY^{1,2}, I.V. BELOV^{1,✉}, A.A. TKACHEV¹

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),
Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

RESEARCHING OF CEMENT PASTE FLUIDITY FOR HYDRAULIC CONCRETE WITH SUPERPLASTICIZERS MODIFICATION

Abstract

Introduction. Ensuring reliable operation of hydraulic structures is inextricably linked with ensuring the strength and durability of their structures. Hydraulic structures are characterized by long service life, therefore ensuring durability is the basis for reliable operation of structures. In the modern implementation of a concrete project, there are several methods for increasing the density, strength and moisture resistance of concrete, incl. the use of plasticizing additives.

Aim. The study of the fluidity of cement paste modified with modern chemical plasticizer additives.

Materials and methods. Portland cement of CEM I 42.5N type was used as a binding material. To determine the fluidity indicators of cement paste, superplasticizers of domestic and imported production were used: BASF MasterGlenium ACE 430, BASF MasterGlenium 808 PAV, Sika Sikament BV 3M, JV Osnovit Safescreen SPP1. The methodology included the comprehensive use of a literature review, standardized methods for determining the spread of cement paste (using the Suttard device) and selection of compositions.

Results. It has been established that the use of effective superplasticizers in optimal dosages can significantly increase the fluidity of cement paste. The use of BASF MasterGlenium ACE 430 at a dosage of 1.5 % increases the initial spread by 5.5 times, and after 120 minutes the diameter of the spread is 4.5 times greater than the control composition. Using BASF MasterGlenium 808 PAV

at a dosage of 0.9 % increases the initial spread by 2.9 times, reaching a maximum of 236 mm after 60 minutes.

Conclusions. The use of effective superplasticizers in optimal dosages can significantly improve the fluidity of cement paste, that is important for ensuring high-quality concreting of complex hydraulic structures. The results of the study contribute to the development of technologies for increasing the reliability and durability of hydraulic structures.

Keywords: hydraulic concrete, Portland cement, superplasticizer, water-cement ratio, chemical admixture, flowability over time, spreading

For citation: Vishtorsky E.M., Belov I.V., Tkachev A.A. Researching of cement paste fluidity for hydraulic concrete with superplasticizers modification. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 5 (624), pp. 45–52. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5\(624\)-45-52](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-5(624)-45-52). EDN: BPRIUM

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the preparation of the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 16.09.2024

Revised 28.10.2024

Accepted 07.11.2024

Введение

Обеспечение надежной работы гидротехнических сооружений (ГТС) неразрывно связано с обеспечением прочности и долговечности их конструкций [1]. Для ГТС характерны длительные сроки эксплуатации, поэтому обеспечение долговечности является основой надежной эксплуатации сооружений.

В современной практике проектирования бетонов существует несколько методов повышения плотности, прочности и влагостойкости бетона:

- выбор оптимального фракционного состава заполнителя. При этом соотношение различных фракций заполнителя должно быть таким, чтобы минимизировать пустоты между зернами;

- выбор вяжущего для гидротехнического бетона. При производстве применяют различные виды цемента, такие как портландцемент, пластифицированный цемент, гидрофобный цемент, сульфатостойкий цемент и пуццолановый цемент. Кроме того, рекомендовано использовать активные минеральные добавки, такие как микрокремнезем и зола-унос, в качестве замены части цемента для уменьшения тепловыделения и повышения прочности бетона;

- снижение количества воды и использование пластифицирующих добавок для изменения удобоукладываемости бетонной смеси.

На уменьшение срока службы гидротехнических бетонов в значительной степени влияет неправильное использование минеральных и химических добавок, а также нарушение технологии изготовления, перевозки и укладки смеси. Главным недостатком гидротехнического бетона является его разрушение под воздействием влажности. Основным критерием качества гидротехнического бетона является его

устойчивость к воздействию агрессивной внешней среды. Необходимо также обеспечить минимальное выделение тепла при гидратации портландцемента. Решить эту задачу можно путем использования пластифицирующих добавок [2].

Цель. Исследование текучести цементного теста, модифицированного современными химическими добавками-пластификаторами.

Характеристика материалов и методы исследований. В качестве вяжущего материала принят портландцемент типа ЦЕМ I 42,5Н, выпускаемый АО «ЛИПЕЦКЦЕМЕНТ» (Липецкая область, г. Липецк, улица Ковалева, владение 126 Б), который отвечает требованиям ГОСТ 31108-2020 [3], а также ГОСТ 30515-2013 [4].

При определении показателей текучести цементного теста использованы суперпластификаторы отечественного и импортного производства: BASF MasterGlenium ACE 430, BASF MasterGlenium 808 PAV, Sika Sikament BV 3M, СП Основит Сэйфскрин SPP1.

Методика проведения исследовательских работ включала обзор литературы и анализ ранее выполненных научно-исследовательских работ и практического опыта в данном направлении. Определение показателей расплыва цементного теста выполнялось с помощью прибора Суттарда [5].

Измерение диаметра расплыва цементного теста представлено на рис. 1.

Количество введенного суперпластификатора в цементное тесто принималось в соответствии с рекомендациями производителей. Водоцементное отношение было принято из условий равнозначности расплыва смеси контрольного состава № 1 и составов, включающими суперпластификаторы [6].

Составы цементного теста приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Составы цементного теста
Cement paste compositions

№ состава	В/Ц	Компоненты цементного теста				
		ПЦ, гр	BASF MasterGlenium ACE 430, % от m_c	BASF MasterGlenium 808 PAV, % от m_c	СП Основит Сэйфскрин SPP1, % от m_c	Sika Sikament BV 3M, % от m_c
1	0,32	500	–	–	–	–
2	0,27	500	1,5	–	–	–
3	0,27	500	1	–	–	–
4	0,27	500	–	0,9	–	–
5	0,27	500	–	0,5	–	–
6	0,27	500	–	–	2	–
7	0,27	500	–	–	1	–
8	0,27	500	–	–	–	1
9	0,27	500	–	–	–	0,5



Рис. 1. Измерение диаметра расплыва цементного теста
Fig. 1. Measuring the diameter of the spread of cement paste

Результаты исследования

Согласно полученным данным, результаты которых визуализированы на рис. 1–4, установлено, что начальный расплыв цементного теста контрольного состава № 1 составляет 50 мм, измерения диаметра расплыва через 30 минут выдерживания показывают увеличение диаметра до 125 мм, после этого в тече-

ние следующих 30 минут выдерживания теста диаметр уменьшается до 102 мм. Дальнейшее измерение диаметра расплыва цементного теста: в 90 минут снижается до 95 мм, при измерении в 120 минут – до 72 мм [7].

Изменение диаметра расплыва цементного теста приведено на рис. 2–5.

Введение химической добавки, на основе эфира поликарбоксилата BASF MasterGlenium ACE 430 (состав № 2) в максимальной дозировке 1,5 % от массы цемента, повышает диаметр начального расплыва цементного теста в 5,5 раза ($D = 282$ мм), дальнейшее выдерживание смеси в специальных условиях позволяет отслеживать тенденцию снижения расплыва до 120 минут. При этом диаметр расплыва теста по истечении 120 минут больше диаметра состава № 1 в 4,5 раза и равен 321 мм [8].

Также выявлено, что введение той же самой химической добавки, BASF MasterGlenium ACE 430 (состав № 3) в минимальной дозировке 1 % от массы цемента, повышает диаметр начального расплыва цементной смеси в 5,8 раза ($D = 291$ мм). В течение выдержки в специальных условиях порядка 120 минут с измерением расплыва каждые 30 минут диаметр «лепешки» цементного теста в 120 минут на 3 мм больше начального значения расплыва и равняется 294 мм, что больше диаметра контрольного состава в 4,1 раза [9].

В составе № 4 при использовании суперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилата и полиакрила BASF MasterGlenium 808 PAV в максимально-рекомендуемой дозировке 0,9 % от массы цемента начальный диаметр расплыва цементного теста увеличивается в 2,9 раза ($D = 143$ мм) относительно контрольного состава № 1. После выдержки в течение 30 минут диаметр расплыва повышается

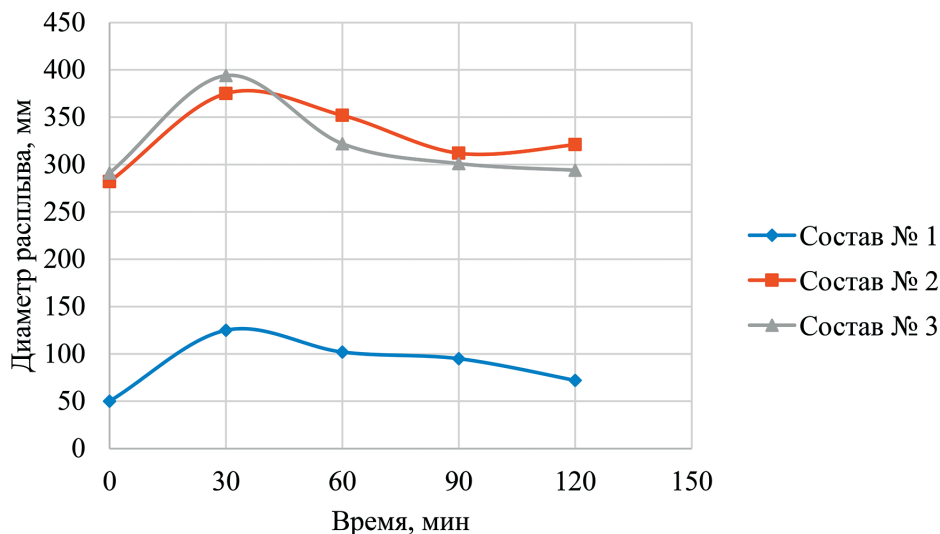


Рис. 2. Изменение диаметра расплыва цементного теста во времени (составы 1, 2, 3)
Fig. 2. Change in the diameter of the cement paste spread over time (compositions 1, 2, 3)

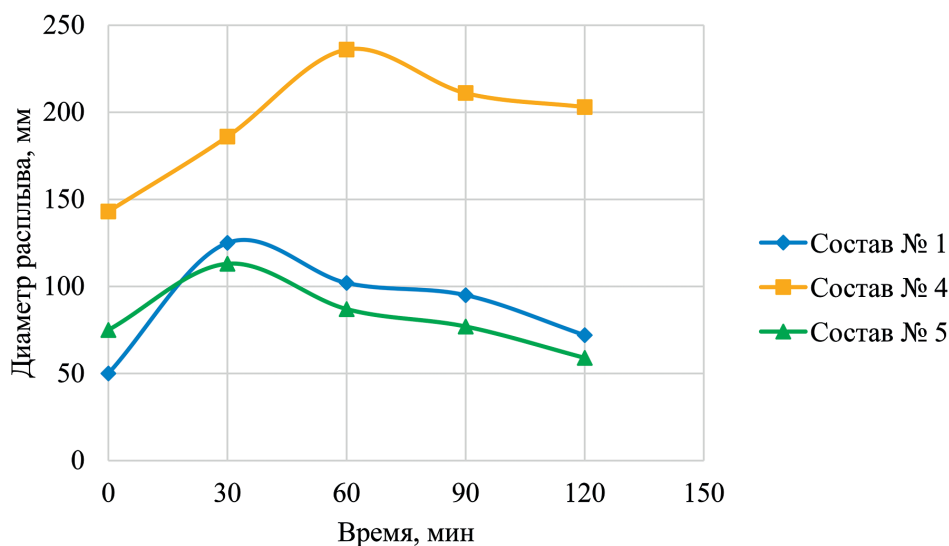


Рис. 3. Изменение диаметра расплыва цементного теста во времени (составы 1, 4, 5)
 Fig. 3. Change in the diameter of the cement paste spread over time (compositions 1, 4, 5)

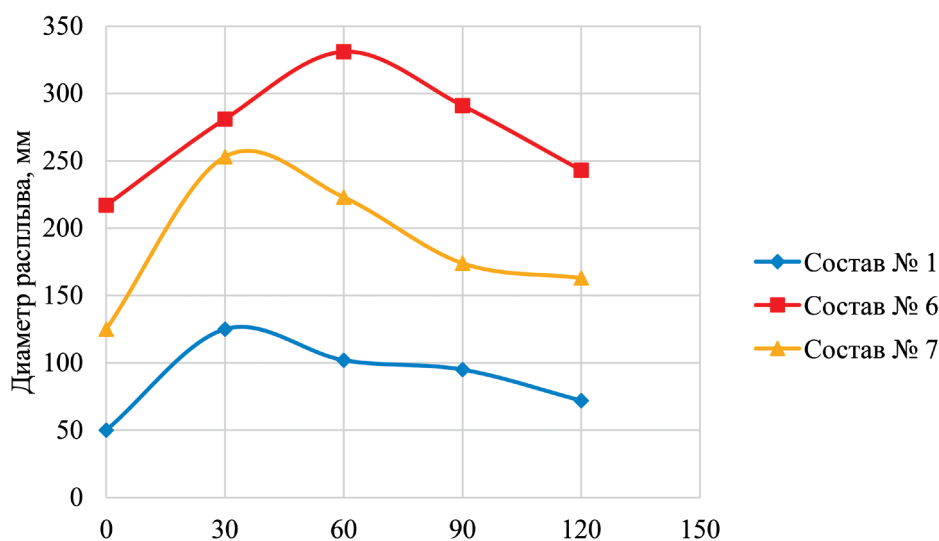


Рис. 4. Изменение диаметра расплыва цементного теста во времени (составы 1, 6, 7)
 Fig. 4. Change in the diameter of the cement paste spread over time (compositions 1, 6, 7)

до 186 мм, тем не менее по истечении следующих 30 минут (60 минут) диаметр равен 236 мм. Последующее выдерживание цементного теста до 90 минут снижает диаметр расплыва до 211 мм, а при достижении 120 минут – 203 мм [10].

Исследования показывают, что если ввести этот же суперпластификатор BASF MasterGlenium 808 PAV (состав № 5) в минимальной дозировке 0,5 % от массы цемента, то начальный диаметр расплыва цементной смеси увеличивается относительно начального диаметра контрольного состава всего в 1,5 раза ($D = 75$ мм). При измерении диаметра расплыва цементной смеси через 30 минут показатели вырастают

до 113 мм, что в 2,3 раза больше контрольного состава. Через 60 минут от начала затворения состава диаметр расплыва уменьшается до 87 мм, что в 1,4 раза больше контрольного состава. Результат измерений диаметра расплыва в 90 минут выдерживания состава в 1,5 раза больше и равен 77 мм, а в 120 минут – 59 мм, что показывает увеличение диаметра в 1,2 раза [11].

Установлено, что введение суперпластификатора СП Основит Сэйфскрин SPP1 (состав № 6) в цементное тесто в максимальной дозировке 2 % от массы цемента на начальном этапе в 4,4 раза больше контрольного состава ($D = 217$ мм) сокращает расход

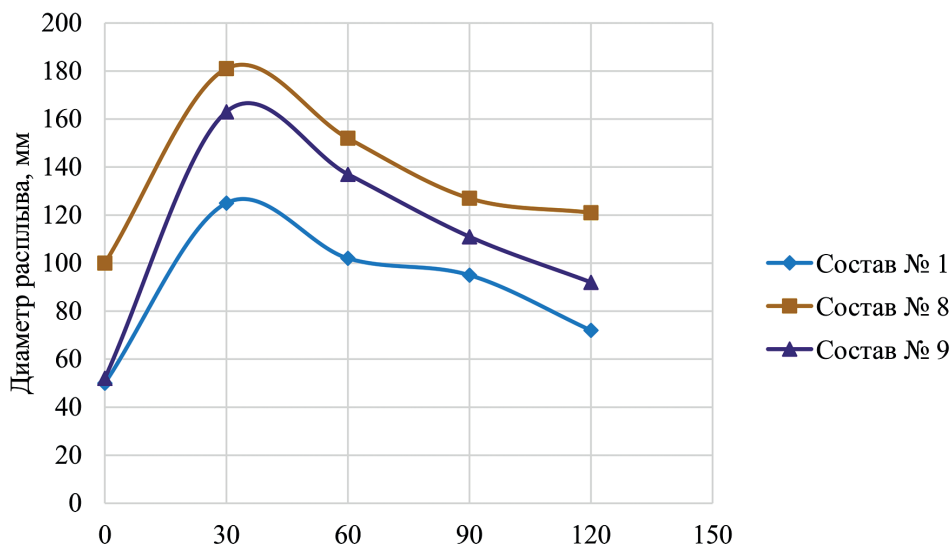


Рис. 5. Изменение диаметра расплыва цементного теста во времени (составы 1, 8, 9)
Fig. 5. Change in the diameter of the cement paste spread over time (compositions 1, 8, 9)

цемента, повышает прочность и долговечность готовой конструкции. В течение первых 30 минут диаметр расплыва увеличивается до 2,3 раза от исходного диаметра расплыва, что равно 281 мм. При достижении 60 минут выдерживания смеси диаметр расплыва цементного теста вырастает до 3,3 раза от диаметра расплыва контрольного состава и составляет 331 мм. По истечении 90 минут диаметр расплыва равен 291 мм, что больше в 3,1 раза диаметра расплыва контрольного состава. На 120 минуте выдерживания теста в специальных условиях с момента затворения диаметр расплыва больше контрольного состава в 3,4 раза от контрольного и составляет 243 мм [12].

Введение того же суперпластификатора СП Основит Сэйфскрин SPP1 (состав № 7), только в минимальной дозировке 1 % от массы цемента, при измерении диаметра расплыва цементной смеси показывает практически такие же значения, как и у контрольного состава. Диаметр расплыва сразу после затворения цементной смеси водой равен 125 мм. После 30 минут выдерживания теста в специальных условиях диаметр расплыва возрастает до 253 мм. Через 60 минут с момента затворения диаметр расплыва равен 223 мм, через 90 минут – 174 мм, а в 120 минут диаметр расплыва цементного теста равен 163 мм.

Применение универсального пластификатора для всех видов работ с бетоном и раствором Sika Sikament BV 3М (состав № 8) в максимальной дозировке 1 % от массы цемента, рекомендуемой производителем, позволяет снизить расход цемента [13]. При измерении диаметра расплыва цементного теста сразу после затворения расплыв больше контрольного состава в 2 раза и равен 100 мм [14]. После 30 минут выдерживания цементного теста в специальных условиях диаметр расплыва увеличивается

в 1,4 раза ($D = 181$ мм). Через 60 минут диаметр понижается до 152 мм, что больше контрольного состава в 1,5 раза. В 90 минут – 127 мм (больше контрольного состава в 1,3 раза). При достижении 120 минут выдерживания диаметр расплыва становится в 1,7 раза больше контрольного состава – 121 мм [15].

Использование того же универсального пластификатора Sika Sikament BV 3М (состав № 9) в минимальной дозировке 0,5 % от массы цемента показывает практически такие же значения, как и у контрольного состава. Диаметр расплыва сразу после затворения портландцемента водой равен 52 мм. Через 30 минут выдерживания теста в специальных условиях диаметр расплыва повышается до значения 163 мм. Через 60 минут с момента затворения диаметр расплыва равен 137 мм, через 90 минут – 111 мм, а в 120 минут диаметр расплыва равен 92 мм.

Выводы

На основании полученных данных наиболее перспективным суперпластификатором является BASF MasterGlenium ACE 430. Введение его в цементное тесто в количестве 1 % от массы цемента позволяет получить диаметр начального расплыва цементной смеси 291 мм.

Следует отметить суперпластификатор BASF MasterGlenium 808 PAV. Его введение в цементное тесто в количестве 0,9 % от массы цемента позволяет получить диаметр начального расплыва цементной смеси 143 мм. Использование этих суперпластификаторов в строительстве и ремонте гидротехнических сооружений позволяет увеличить время подвижности цементного теста, повысить трещиностойкость, удобоукладываемость, морозостойкость. Планируется проведение дальнейших исследований указанных

суперпластификаторов в составе цементного камня, модифицированного сульфодиферритной добавкой.

Список литературы

1. 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.
2. Охупкин Г.В. Обоснование рациональных технических решений по ремонту площадных разрушений бетона гидротехнических сооружений в зоне переменного уровня: автореферат... дисс. канд. техн. наук. Москва, 2019.
3. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020.
4. ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
5. Вороненко М.Э., Скибина А.А., Егорова Е.В., Лахтарина С.В., Петрик И.Ю. Тяжелый бетон для гидротехнических сооружений // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2022. № 1 (153). С. 49–53.
6. Коваленко Д.С. Цементные композиты, модифицированные расширяющими добавками // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2020. № 1 (141). С. 162–169.
7. Аманбаев А.А. Результаты разработки технологии подводного ремонта железобетонных конструкций ГТС // *Тезисы докладов «Девятая научно-техническая конференция. Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии»*. Санкт-Петербург, 22–24 октября, 2015.
8. Nemova D., Murgul V., Golik A., Chizhov E., Pukhkal V., Vatin N. Reconstruction of administrative buildings of the 70s: the possibility of energy modernization. *Journal of Applied Engineering Science*. 2014, vol. 12 (1), pp. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes12-5610>
9. Stevanovic I., Stanojevic D., Nedic A. Setting the after sale process and quality control at car dealerships to the purpose of increasing clients satisfaction. *Journal of Applied Engineering Science*. 2013, vol. 11 (2), pp. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes11-3821>
10. Вишторский Е.М., Ткачев А.А., Назарова А.В., Коваленко Д.С. Строительные материалы: учебное пособие. Москва: Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева, 2024. 98 с.
11. Егорова Е.В. Самоуплотняющиеся бетоны с полифункциональным модификатором на основе отходов промышленности: автореферат... дисс. канд. техн. наук. Макеевка, 2016.
12. Халюшев А.К. Эксплуатационные свойства бетонов на основе модифицированных композици-

онных цементов // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2012. Т. 8. № 3. С. 149–158.

13. Bajenov U.M., Lukutcova N.P., Karpikov E.G. Fine-aggregate concrete have modified by the complex microdisperse additive. *Herald of Moscow State Building University*. 2013, no. 2, pp. 94–100.
14. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Расчетное прогнозирование свойств и проектирование составов бетонов: учебно-практическое пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 386 с.
15. Вишторский Е.М. Назарова А.В. Исследование влияния органоминеральной добавки на основе отхода производства минеральных удобрений на свойства цементного камня // *Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля*. 2021. № 12 (54). С. 30–33.

References

1. Vishtorsky E.M., Belov I.V., Nazarova A.V. High-performance cement concrete for hydro-engineering construction. *Vestnik Lugansk Vladimir Dahl State University*. 2023, no. 1 (67), pp. 49–53. (In Russian).
2. Okhapkin G.V. Justification of rational technical solutions for the repair of areal destruction of concrete of hydraulic structures in a zone of variable level: abstract... diss. of the Cand. Sci. (Engineering). Moscow, 2019. (In Russian).
3. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
4. State Standard 30515-2013. Cements. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
5. Voronenko M.E., Skibina A.A., Egorova E.V., Lakhtarina S.V., Petrik I.Yu. Heavy concrete for hydraulic structures. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2022, no. 1 (153), pp. 49–53. (In Russian).
6. Kovalenko D. Cement composites modified with expanding additives. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2020, no. 1 (141), pp. 162–169. (In Russian).
7. Amanbaev A.A. Results of the development of technology for underwater repair of reinforced concrete structures of hydraulic structures. *Abstracts of the reports "The Ninth Scientific and Technical Conference. Hydropower. Hydraulic engineering. New developments and technologies"*. St. Petersburg, October 22–24, 2015. (In Russian).
8. Nemova D., Murgul V., Golik A., Chizhov E., Pukhkal V., Vatin N. Reconstruction of administrative buildings of the 70s: the possibility of energy modernization. *Journal of Applied Engineering Science*. 2014, vol. 12 (1), pp. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes12-5610>

9. Stevanovic I., Stanojevic D., Nedic A. Setting the after sale process and quality control at car dealerships to the purpose of increasing clients satisfaction. *Journal of Applied Engineering Science*. 2013, vol. 11 (2), pp. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes11-3821>
10. Vishtorsky E.M., Tkachev A.A., Nazarova A.V., Kovalenko D.S. Building materials: a textbook. Moscow: Russian State Agrarian University of the Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2024, 98 p. (In Russian).
11. Egorova E.V. Self-compacting concretes with a multifunctional modifier based on industrial waste: abstract... diss. of the Cand. Sci. (Engineering). Makeyevka, 2016. (In Russian).
12. Khaljushev A.K. Exploitation properties of concrete with the modified composite cements. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2012, vol. 8, no. 3, pp. 149–158. (In Russian).
13. Bajenov U.M., Lukutcova N.P., Karpikov E.G. Fine-aggregate concrete have modified by the complex microdisperse additive. *Herald of Moscow State Building University*. 2013, no. 2, pp. 94–100.
14. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Computational forecasting of properties and design of concrete compositions: an educational and practical guide. Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2016, 386 p. (In Russian).
15. Vishtorsky E.M., Nazarova A.V. Influence of organomineral additives on the basis of waste production of mineral fertilizers on the properties of cement stone. *Vestnik Lugansk Vladimir Dahl State University*. 2021, no. 12 (54), pp. 30–33. (In Russian).

**Информация об авторах /
Information about the authors**

Евгений Михайлович Вишторский, канд. техн. наук, доцент кафедры сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева; доцент кафедры испытаний сооружений, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: vishtorsky@gmail.com

Evgeny M. Vishtorsky, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Agricultural Construction and Real Estate Expertise, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Associate Professor of the Department of Testing Constructions, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow
e-mail: vishtorsky@gmail.com

Игорь Викторович Белов✉, аспирант, ассистент кафедры сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва
e-mail: bivik.1995@yandex.ru

Igor V. Belov✉, Postgraduate Student, Assistant at the Department of Agricultural Construction and Real Estate Expertise, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow
e-mail: bivik.1995@yandex.ru

Александр Анатольевич Ткачев, канд. техн. наук, доцент кафедры сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва
e-mail: tkachevaa@yandex.ru

Aleksandr A. Tkachev, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Agricultural Construction and Real Estate Expertise, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow
e-mail: tkachevaa@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author