

Исследование повышения долговечности тяжелого бетона с использованием микрокремнезема и трепела в качестве активных минеральных добавок

Т.С. Иванова, Л.Г. Колесникова, А.А. Кашелкин, Р.Э. Айрапетян

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Статья является продолжением исследования, по повышению долговечности тяжелого бетона и увеличению жизненного цикла конструкций. Задача исследования – определение влияния действия добавок микрокремнезема и трепела, вводимых в бетонную смесь на увеличение прочностных характеристик бетона. Подобран контрольный состав заданного класса бетона по прочности В60 класса по морозостойкости F400 и водонепроницаемости W20, с добавкой суперпластификатора ST 5.0. Проведен сравнительный анализ различных составов бетонов с целью повышения их прочностных характеристик и плотности. В результате экспериментов установлено, что введение 5% микрокремнезема или трепела, а также их комбинации, способствует достижению заданного класса прочности В60 и повышению плотности бетона. Использование суперпластификатора ST 5.0 обеспечивает необходимую подвижность смеси без увеличения водоцементного соотношения, что способствует повышению долговечности и эксплуатационных характеристик материалов. Полученные результаты позволяют рекомендовать добавки для производства высокопрочного бетона с улучшенными техническими показателями.

Ключевые слова: микрокремнезем, прочность бетона, трепел, бетонная смесь, суперпластификатор, водоцементное соотношение, тяжелый бетон, активные минеральные добавки, бетон, МКУ-85.

Введение

Наиболее широко используемым в современном строительстве является тяжелый бетон. Для конструкций важно гарантировать их долговечность, для чего при расчетах используют коэффициент запаса. Долговечность бетона — это способность материала сохранять свои характеристики и прочность в течение срока службы. Однако практика эксплуатации конструкций из бетона показывает, что достаточно большое число объектов не достигает расчетного срока службы. Это прежде всего связано с технологическими процессами изготовления бетонных изделий, монтажом, воздействием окружающей среды и другими процессами. Следовательно, обеспечение долговечности конструкций из бетона,

является одним из основных условий безопасности и экономической эффективности длительной эксплуатации зданий и сооружений [1-3].

В современном строительстве для улучшения прочностных, а, следовательно, и эксплуатационных характеристик бетона применяют различные добавки-модификаторы, такие как лигносульфонаты (LST); сульфонафталин формальдегиды (SNF); поликарбоксилат эфиры (PCE).

Результаты предыдущих исследований показали эффективность применения микрокремнезёма, являющегося побочным продуктом промышленности и получаемого в процессе газоочистки технологических электродуговых печей, в качестве активной минеральной добавки.

Микрокремнезем является эффективной добавкой для улучшения свойств строительных материалов. Научные исследования подтверждают, что он способствует уменьшению пористости и пустот в материале за счет своей высокой реакционной способности и способности заполнять межзерновые пространства. Это ведет к повышению плотности, прочности и долговечности бетона. В целом, микрокремнезем играет важную роль в создании более прочных, плотных и устойчивых конструкционных материалов, а его применение способствует развитию экологически более безопасных и эффективных технологий в строительстве.

Значение осадки конуса уменьшается, а добавление 5% микрокремнезёма повышает прочность на осевое сжатие, изгиб и растяжение [4,5].

В данном исследовании кроме микрокремнезема использовались еще добавки: трепел и суперпластификатор.

Трепел содержит до 75–96 % активного кремнезема и является одной из наиболее эффективных активных минеральных добавок к вяжущим [6-8].

Суперпластификатор ST 5.0 (Скай Трэйд) значительно увеличивает подвижность и текучесть бетонных и растворных составов без необходимости увеличения количества воды. Это позволяет добиться высокой плотности и прочности материала при сохранении удобства укладки и обработки. Также суперпластификатор способствует снижению водоцементного соотношения, что повышает долговечность и износостойкость готовых изделий, а также улучшает их эксплуатационные характеристики [9-11].

Методы и материалы

В работе были использованы следующие материалы:

- гранитный щебень крупностью зерен 5-20 мм;
- кварцевый песок с модулем крупности 2,5 мм;
- портландцемент класса 42,5Н «Цемрос», с нормальной густотой 29%;
- водопроводная вода;
- микрокремнезем (МКУ-85). Вводили в количестве 2,5 и 5% от массы цемента;
- трепел, вводили в количестве 2,5 и 5% от массы цемента;
- поликарбоксилатный суперпластификатор ST 5.0, вводили в количестве 1,4 % от массы цемента (далее Д1);

Для проведения испытаний был подобран контрольный состав №1 класса бетона по прочности В60 и маркой по подвижности бетонной смеси П4 с добавкой поликарбоксилатного суперпластификатора Скай Трэйд в количестве 1,4 % от массы цемента (Д1). На основе контрольного были подобраны составы с введением добавок: состав №2 с активной минеральной добавкой микрокремнезема (МКУ) 5 % от массы цемента; состав № 3 с трепелом 5 % от массы цемента; состав № 4 с активной

минеральной добавкой микрокремнезема (МКУ) 2,5 % и трепелом 2,5 % от массы цемента.

Составы бетонов представлены в таблице 1.

Таблица №1

Составы бетонов

Номер состава	Расход компонентов бетона, на 1 м ³							
	Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	Д1, л	МКУ, кг	ТР, кг	В/Ц
1	608,6	785,7	785,7	157,1	11,43	-	-	0,26
2	578,6	785,7	785,7	150	8,57	30	-	0,26
3	578,6	785,7	785,7	164,3	8,57	-	30	0,28
4	578,6	785,7	785,7	150	8,57	15	15	0,26

Составлены гистограммы результатов испытания прочности при сжатии для всех составов (рис.1), плотности бетонных образцов (рис.2) и плотность бетонной смеси (рис.3).



Рис. 1. – Средняя прочность образцов

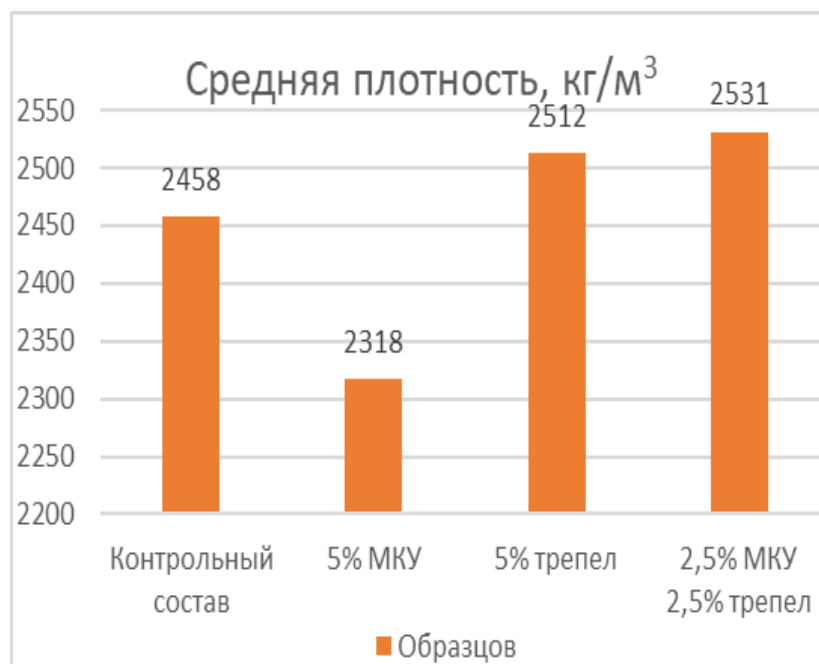


Рис. 2. – Средняя плотность бетона

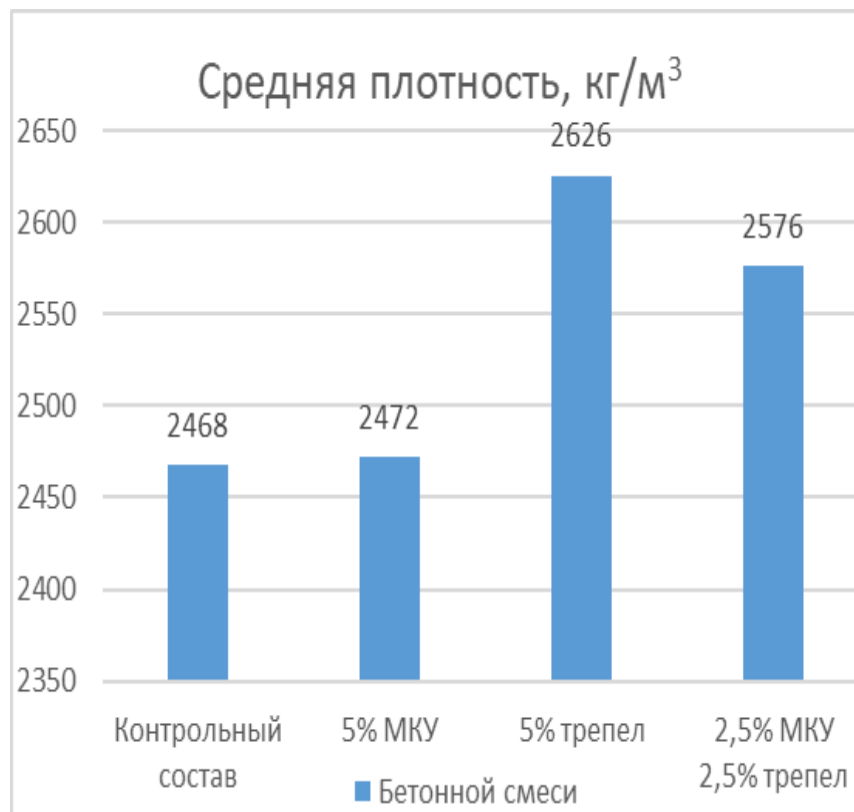


Рис. 3. – Средняя плотность бетонной смеси

Полученные результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица № 2

Результаты испытаний

№ состава	№ образца	Плотность б.с., кг/м ³	Осадка конуса	Марка по удобоукладываемости б.с.	Плотность бетона, кг/м ³	R28, Мпа	Класс прочности бетона на сжатие
№1 Контрольный состав	1		18	П4	2427	82,6	55
	2	2435			2440	65,6	
	3				2458	71,1	
	4	2490			2488	65,2	
	5				2483	73,9	
	6	2478			2453	80,2	
№2 5% МКУ	1		20	П4	2333	73,3	60
	2	2475			2315	90,5	
	3				2322	73,6	
	4	2468			2301	89,5	
	5				2312	80,4	
	6	2473			2322	86,4	
№3 5% трепел	1		21	П4	2521	92,8	60
	2	2652			2507	80,4	
	3				2528	86,7	
	4	2590			2512	74,2	
	5				2497	85,3	
	6	2635			2508	74,6	
№4 2,5% МКУ 2,5% трепел	1		18	П4	2531	80,4	60
	2	2568			2543	53,4	
	3				2561	69,5	
	4	2615			2538	79,2	
	5				2507	84,2	
	6	2545			2508	73,7	

Введение активных минеральных добавок показало, что составы №2,3,4 позволяют получить класс бетона по прочности не ниже В60 и их

прочность больше, чем у контрольного состава. Составы №3,4 позволяют получить плотность бетона не ниже, чем у контрольного состава. Состав №2 имеет пониженную плотность бетона.

Основываясь на полученных результатах, было установлено, что введение добавок микрокремнезема и трепела в количестве 5 и 2,5 % дают возможность получить заданный класс бетона по прочности, а введение суперпластификатора марку по подвижности П4.

Необходимо продолжить исследование по набору прочности бетона в возрасте 7 и 14 суток для данных составов бетонов и определения оптимального количества добавок.

Литература

1. Аунг Ч.Н., Потапова Е.Н. Влияние вида пуццолановой добавки на состав и свойства гипсоцементно- пуццоланового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2022. №3. С. 7-9.
2. Добшиц Л. М. Пути повышения долговечности бетонов // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 4-9.
3. Чикин А. В. Технология повышения долговечности бетона с современными добавками // Экология и строительство. 2015. № 3. С. 8-13.
4. Самченко С.В., Зорин Д.А., Нгуен З.Т.Л., Танг В.Л. Влияние содержания комплексных добавок на деформационные характеристики цемента // Строительство: наука и образование. 2023. №1. С. 137-151.
5. Рахимов Р.З., Камалова З.А., Ермилова Е.Ю., Стоянов О.В. Термически обработанный трепел как активная минеральная добавка в цемент // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №13. С. 99-101.
6. Коровкин М. О., Петухов А. В. Высокопрочные бетоны с высоким содержанием золы Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна

// Инженерный вестник Дона. - 2017. - №1. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4067

7. Aslani F., Yu J., Zhang Y., Valizadeh A. Corrigendum to “Development of prediction models for evaluation of alkali-silica reaction in concrete” //Case Studies in Construction Materials. – V. 20. – 2024. - e02788 doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02788.

8. Zhao H., Wang Y., Liu X., Wang X., Chen Z., Lei Z., Zhou Y., Singh A. Corrigendum to “Review on solid wastes incorporated cementitious material using 3D concrete printing technology” // Case Studies in Construction Materials. – V. 21. – 2024. - e03922, doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03922.

9. Иванова Т.А., Кашелкин А.А., Кныш А.Г. Исследование повышения долговечности тяжелого бетона с использованием добавок суперпластификаторов и фибры // Экономика строительства. 2025. №1. С. 487-490.

10. Трофимов Б. Я., Шулдяков К. В., Махмудов А. М. Влияние на долговечность бетона микроструктуры гидратных фаз цементного камня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 3. С. 8-18.

11. Жидков П. А., Иванова Т. А. Исследование влияния комплексной добавки микрокремнезема и отсева дробления бетонного лома на свойства самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона - 2024. - №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2024/9433

References

1. Aung Ch.N., Potapova E.N. Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii. 2022. №3. pp. 7-9.
2. Dobshic L. M. Stroitel'nye materialy. 2017. № 10. pp. 4-9.
3. Chikin A. V. Jekologija i stroitel'stvo. 2015. № 3. pp. 8-13.

4. Samchenko S.V., Zorin D.A., Nguen Z.T.L., Tang V.L. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2023. №1. pp. 137-151.
5. Rahimov R.Z., Kamalova Z.A., Ermilova E.Ju., Stojanov O.V. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2014. №13. pp. 99-101.
6. Korovkin M. O., Petuhov A. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4067
7. Aslani F., Yu J., Zhang Y., Valizadeh A. Case Studies in Construction Materials. V. 20. 2024. e02788 doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02788.
8. Zhao H., Wang Y., Liu X., Wang X., Chen Z., Lei Z., Zhou Y., Singh A. Case Studies in Construction Materials V. 21. 2024. e03922 doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03922.
9. Ivanova T.A., Kashelkin A.A., Knysh A.G. Jekonomika stroitel'stva. 2025. №1. pp. 487-490.
10. Trofimov B. Ja., Shuldjakov K. V., Mahmudov A. M. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2021. № 3. pp. 8-18.
11. Zhidkov P. A., Ivanova T. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2024/9433.

Дата поступления: 1.08.2025

Дата публикации: 25.09.25