

Повышение эффективности использования пластифицирующих добавок в бетонных смесях

К.С. Стенечкина

Московский государственный строительный университет, Москва

Аннотация: В статье рассмотрены методы повышающие эффективность добавки для приготовления бетонной смеси. Исследованы гидратации цементных систем с различным минеральным и вещественным составом. Описаны результаты экспериментальных исследований, подтверждающих повышение эффективности пластифицирующих добавок при оптимизации состава бетонных смесей за счет использования тонкомолотой комплексной добавки и предварительного создания в бетонных смесях гидратных новообразований.

Ключевые слова: бетон, гидратация, бетонная смесь, добавка, цементный камень, подвижность, эффективность, свойства, прочность.

Введение

В современном строительстве бетон является одним из основных материалов, используемым для возведения различных конструкций [1-3] и в настоящее время прогрессирует с каждым годом объем бетонных работ, это объясняется универсальностью свойств бетона [4], что позволяет расширять область его применения для производства как сборных, так и монолитных сооружений [5, 6]. Широко применяются бетонные смеси с пластифицирующими добавками [7, 8], несмотря на то, что при их использовании даже в малых количествах происходит замедление процесса гидратации и твердения цементного камня из-за слабой проницаемости воды через создаваемые ими адсорбционные слои.

Это происходит из-за того, что образованные слои экранируют новообразования минералов цемента и площадь контактов между ними. Как правило, бетон с добавкой [9, 10] имеет меньшую прочность, чем бетон того же состава без добавки. При увеличении количества пластификатора происходит повышение проницаемости слоев, но прочность при этом снижается [11, 12]. Эффективность добавок может существенно варьироваться в зависимости от различных факторов: вид вяжущего,

температура бетонной смеси, вид заполнителей и количество воды затворения. Поэтому актуальной задачей является поиск путей повышения эффективности использования добавок в бетонных смесях [13-15] для обеспечения требуемых свойств бетона [16].

Следовательно, необходимо применять бетонные смеси с уменьшенным количеством добавки при сохранении заданной марки по подвижности смеси.

Методы исследований и результаты

Для достижения цели использовали:

- промышленные активаторы с вертикальной рабочей камерой выступали в качестве смесителя циклического действия, скорость вращения - не менее 10 000 об/мин;
- лазерный гранулометрический анализатор для определения размеров частиц;
- в качестве пластификатора применяли добавку сперпластификатор «Реокон» (также можно использовать ЛСТ, суперпластификаторы и гиперпластификаторы);
- в роли минеральных носителей выступали микрокремнезем и зола-уноса ТЭС (помимо этого возможно применение и зола-шлаковых смесей, отсевов дробления бетонного лома, известняковой муки и др).

Для получения бетонных смесей использовали:

- в качестве вяжущего вещества - ПЦ 500 Д0;
- в качестве заполнителей - гранитный щебень фракции 5-10мм и кварцевый песок с модулем крупности $M_k=2$;
- в роли добавки - порошкообразный продукт, полученный нижеописанным способом.

Первоначально для приготовления добавки потребовался смеситель циклического действия, в котором перемешивали в течение 5 мин

суперпластификатор «Реокон» в количестве 12 мас.% и минеральную составляющую из кремнезема и золы-уноса ТЭС (соотношение 1:1) в количестве 88 мас.%. Далее понадобилась мельница для получения порошкообразного вида добавки [17].

В результате исследования полученного измельченного продукта с помощью лазерного гранулометрического анализатора было установлено, что добавка имеет частицы размером 10-15 мкм в количестве 70-75% и 10-15% - размером 0,5-1 мкм.

После обработки данным методом в конечном итоге образуется мелкодисперсная добавка с повышенной активностью.

Для приготовления мелкозернистой бетонной смеси составом 1:2 при В/Ц=0,58 использовали комплексную мелкодисперсную добавку в объеме 0,4% от массы цемента, диаметр расплыва конуса из цементно-песчаного раствора на встряхивающем столике составил 22 см. При использовании суперпластификатора С-3 для приготовления цементно-песчаного раствора с таким же диаметром расплыва его количество составило 0,21% от массы цемента. Анализ результатов показал, что введение комплексной порошкообразной добавки уменьшил расход суперпластификатора в 4,38 раза. Для получения бетонной смеси такой же марки по удобоукладываемости (осадка конуса 9 см) при применении в качестве добавки только гиперпластификатора потребовалось его в количестве 0,3% от массы цемента, это свидетельствует о том, что применение комплексной добавки снижает расход гиперпластификатора в 4,1 раза.

Приготовленная бетонная смесь, расход материалов указан в таблице № 1., имела осадку конуса 9 см, что соответствует марки по удобоукладываемости П2.

Исследования гидратации цементных систем с различным минеральным и вещественным составом, модифицированных пластификаторами позволило

установить следующее: высокодисперсные продукты гидратации портландцемента являются активными адсорбентами пластификаторов и адсорбция во многом определяется содержанием этих продуктов в среде гидратируемого цемента [1].

Таблица №1

Компоненты для приготовления бетонной смеси

Наименование компонента для бетонной смеси	Количество
портландцемент	465 кг/м ³
песок	736 кг/м ³
щебень	1170 кг/м ³
вода	195 кг/м ³
Комплексная добавка (содержание «Реокон» - 0,072%)	2,79 кг/м ³ (0,6% от массы ПЦ)

Установлено, что если при приготовлении бетонной смеси в воде затворения предварительно растворить 5-10% пластификатора от расчетного количества вяжущего с добавкой, то это позволит получить коллоидный раствор с повышенным содержанием микро- и наночастиц [11].

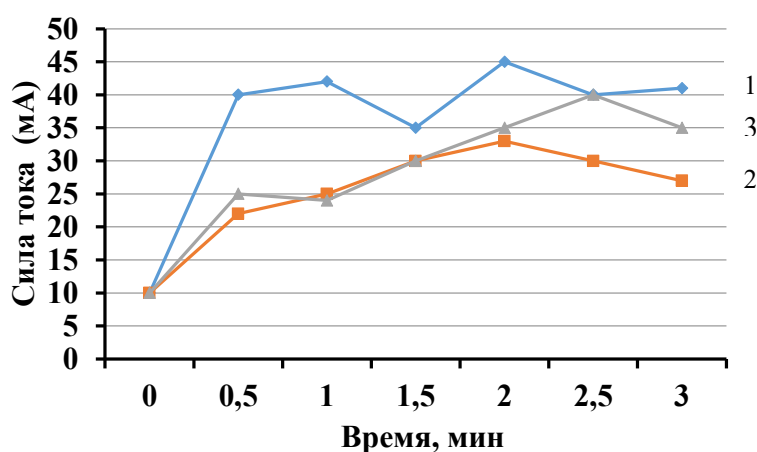


Рис. 1. – Изменение силы тока во времени от момента затворения:

1 – при $V/C_6=0,46$ и $V/C_c= 8,2$; 2 – при $V/C_6 = 0,6$ и $V/C_c = 11,6$; 3 – при $V/C_6 = 0,75$ и $V/C_c = 12,8$

Примечание: V/C_6 – водоцементное отношение бетонной смеси, V/C_c – водоцементное отношение цементно-водной суспензии при растворении 10% цемента во всей воде затворения.

На рис. 1 приведены данные по изменению свойств коллоидного раствора, которые оценивали по силе постоянного тока, проходящего через исследуемую цементно-водную суспензию во времени при различном водоцементном отношении.

Анализ данных показал, что в течение 2-2,5 мин интенсивнее всего увеличивается сила тока цементно-водной суспензии, которая постоянно подвергается перемешиванию. В это время образуются ионы Ca^{2+} , OH^- , SO_4^{2-} , а через пару минут образуется этtringит, который создает плотные экранирующие оболочки.

В результате исследования приготовленный контрольный состав бетонной смеси, компоненты указаны в таблице № 2, имел осадку конуса 17-18 см, что соответствует марке по удобоукладываемости П4, прочность на сжатие после 28 суток твердения при нормальных условиях составила 29,5 МПа.

Таблица № 2

Компоненты для приготовления бетонной смеси

Наименование компонента для бетонной смеси	Количество
портландцемент	375 кг/м ³
песок	795 кг/м ³
щебень	1191 кг/м ³
вода	281 кг/м ³
добавка С-3	2,256 кг/м ³ (0,6% от массы ПЦ)

При добавлении в приготовленную цементно-водную суспензию, в состав которой входит 38 кг цемента и вся вода затворения, оставшихся компонентов бетонной смеси спустя 2 минуты перемешивания получили бетонную смесь с осадкой конуса 24-28 см, что соответствует марке по

удобоукладываемости П5, и кубиковую прочность после затвердевания бетонной смеси равную 34,7 МПа.

Получение модифицированной смеси с такой же подвижностью как у контрольного состава оказалось возможным при сокращении расхода добавки суперпластификатора С-3 в 3 раза.

Заключение

Повышение эффективности использования пластифицирующих добавок в бетонных смесях является важной задачей, позволяющей улучшить свойства бетона и повысить его долговечность. Для достижения этой цели необходимо учитывать факторы, влияющие на действие добавок, применять методы оптимизации составов бетонной смеси. Таким образом, использование порошкообразных комплексных добавок или предварительное создание в бетонных смесях гидратных новообразований способствует резкому повышению активности пластификаторов и как следствие к сокращению их количества в 3-4 раза при сохранении заданной подвижности.

Литература

1. Леденев А.А., Перцев В.Т., Барабаш Д.Е., Внуков А.Н., Перова Н.С., Иванова О.М. Научно - практические разработки бетонов с улучшенными характеристиками для сооружений военного аэродрома // Химия, физика и механика материалов. 2020. № 4 (27). С. 36-49.
2. Рахманова А.А., Оремедов Т.С. Эффективные материалы и конструкции в сейсмостойком строительстве // Научные исследования XXI века. 2020. № 6(8). С. 103-107.
3. Lutsenko E.V. Automated system-cognitive analysis of the influence of concrete composition on its physical and mechanical properties and cost // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2023. № 191. С. 31-50.

4. Куковякин А.Б. Инновационные решения в индустриальном домостроении // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2023. № 6 (281). С. 12-13.
5. Стрелкова М.Д., Стрелец К.И., Величкин В.З., Петроченко М.В. Эффективность применения сборно-монолитных каркасных систем в гражданском строительстве // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 11. С. 1493-1507.
6. Блажко В.П., Смирнова Л.Н. Технические решения сборно-монолитного здания для заводов ЖБИ с ограниченными технологическими возможностями // Бетон и железобетон. 2023. № 4 (618). С. 28-35.
7. Куликова, А. А., Демьяненко О. В., Ничинский А. Н. Разработка комплексных модифицирующих добавок для тяжелого бетона // The Scientific Heritage. 2021. № 80-1(80). С. 36-40. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-80-1-36-40. EDN: PIUPFG.
8. Сузев, Н. А., Копжасаров Б. Т., Култаев З. Ю. Оптимизация состава бетона с использованием пластифицирующих добавок для ремонтных работ гидротехнических сооружений // Вестник науки Южного Казахстана. 2021. № 4(16). С. 30-39. EDN BGKWRA.
9. Кошевар, В. Д., Суворова Г. С. Реологические свойства водных эмульсий рапсового масла и гидрофобно-пластифицирующая добавка на их основе для бетонов // Технологии бетонов. 2023. № 6(191). С. 67-72. EDN: TDPNFA.
10. Аларханова, З. З. Химические добавки для бетонов и растворов: номенклатура, классификация, Основной эффект действия // Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 1(9). С. 31-39. DOI: 10.34824/VKNPIRAN.2022.9.1.003. EDN: WNWHTZ.
11. Макушина, Ю. В. К вопросу об идентификации добавок-пластификаторов для бетонов // Вестник Инженерной школы

Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 90-96. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-2/90-96. EDN: SXZNGF.

12. Barabanshchikov Y.G., Komarinskiy M.V. Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of concrete mixtures // Advanced Materials Research. Magazine of civil engineering. 2019. Vol. 941–944. P. 780–785. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.780

13. Ларсен О.А., Солодов А.А., Бахрах А.М. Влияние добавки молотого шлака на морозостойкость вяжущего для получения архитектурного бетона // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2025. № 3 (1087). С. 55-56.

14. Сороканич С.В., Парамонова А.В. Оптимизация состава быстротвердеющих тяжелых цементных бетонов с комплексной добавкой из отходов промышленности // Инженерный вестник Дона. 2025. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9747.

15. Романенко И.М., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Козицын В.С. Влияние условий твердения бетона на прочностные показатели // Инженерный Вестник Дона. 2022. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2022/7531.

16. Цветков К.А. Прочность бетона при динамическом нагружении в условиях одноосного и двухосного сжатия // Инженерный вестник Дона. 2025. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9757.

17. Ларсен О. А., Наруть В.В., Бахрах А.М. Пуццолановая активность минеральных добавок для гидротехнических бетонов // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29, № 3. С. 250-260. EDN: UYAE00.

References

1. Ledenev A.A., Percev V.T., Barabash D.E., Vnukov A.N., Perova N.S., Ivanova O.M. Himija, fizika i mehanika materialov. 2020. № 4 (27). pp. 36-49.

2. Rahmanova A.A., Oremedov T.S. Nauchnye issledovanija XXI veka. 2020. № 6(8). pp. 103-107.



3. Lutsenko E.V. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2023. № 191. pp. 31-50.
 4. Kukovjakin A.B. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. 2023. № 6 (281). pp. 12-13.
 5. Strelkova M.D., Strelec K.I., Velichkin V.Z., Petrochenko M.V. Vestnik MGSU. 2021. T. 16. № 11. pp. 1493-1507.
 6. Blazhko V.P., Smirnova L.N. Beton i zhelezobeton. 2023. № 4 (618). pp. 28-35.
 7. Kulikova, A. A., Dem'janenko O. V., Nichinskij A. N. Razrabotka. The Scientific Heritage. 2021. № 80-1(80). pp. 36-40. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-80-1-36-40. EDN: PIUPFG.
 8. Suzev, N. A., Kopzhasarov B. T., Kultaev Z. Ju. Vestnik nauki Juzhnogo Kazahstana. 2021. № 4 (16). pp. 30-39. EDN: BGKWRA.
 9. Koshevar, V. D., Suvorova G. S. Tehnologii betonov. 2023. № 6(191). pp. 67-72. EDN: TDPNFA.
 10. Alarhanova, Z. Z. Vestnik KNII RAN. Serija: Estestvennye i tehicheskie nauki. 2022. № 1(9). pp. 31-39. DOI: 10.34824/VKNIIRAN.2022.9.1.003. EDN: WNWHTZ.
 11. Makushina, Ju. V. Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. 2022. № 2(51). pp. 90-96. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-2/90-96. EDN: SXZNGF.
 12. Barabanshchikov Y.G., Komarinskiy M.V. Advanced Materials Research. Magazine of civil engineering. 2019. Vol. 941–944. pp. 780–785. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.780
 13. Larsen O.A., Solodov A.A., Bahrah A.M. BST: Bjulleten' stroitel'noj tehniki. 2025. № 3 (1087). pp. 55-56.
 14. Sorokanich S.V., Paramonova A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9747
-



15. Romanenko I.M., Petrovnina I.N., Elichev K.A., Kozicyn V.S. Inzhenernyj Vestnik Dona. 2022. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2022/7531/.

16. Cvetkov K.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9757.

17. Larsen, O. A., Narut' V. V., Bahrah A. M. Tehnika i tehnologija silikatov. 2022. T. 29, № 3. pp. 250-260. EDN: UYAE00.

Дата поступления: 7.06.2025

Дата публикации: 26.07.2025