

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-8-15

*Ледяйкина О.В., Ледяйкин Н.В.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

*E-mail: oksana.ledyaykina.97@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА БЕТОНА

Аннотация. Проблема улучшения эффективности качества бетона и ж/б является перспективным направлением, которое не может быть полностью реализовано без применения химических добавок. Добавки считаются достаточно простым способом для улучшения показателей цементного композита, они дают возможность уменьшить количество вяжущего и регулировать технологические характеристики бетонной смеси и физико-механические свойства материала, а также повысить долговечность зданий и сооружений. В настоящее время используют большое число добавок, вводимых в бетонные смеси, которые классифицируются по механизму действия, химическому составу и другим характеристикам. Цель настоящих исследований состояла в оптимизации составов бетонов с добавками по показателям прочности и деформативности. Объектом исследования являются мелкозернистые бетоны, изготавливаемые на цементном вяжущем с применением различных модифицирующих добавок, в качестве которых исследованы модификаторы типа «Эдванс Ультра», «Суперпласт Прима», «Суперпласт Станадарт». Исследуемыми показателями являлись прочность при сжатии и модуль упругости мелкозернистого бетона. Выявлено, что введение модифицирующих добавок способствует повышению исследуемых показателей. При этом наибольший пророст прочности и модуля упругости достигается при применении пластификатора марки «Эдванс Ультра».

Ключевые слова: мелкозернистые бетоны, модифицирующие добавки, физико-механические свойства, прочность, деформативность.

Введение. Бетон считается главным строительным материалом, который используется во всем мире и ресурсы его применения до конца не израсходованы. Он применяется уже многие столетия, развивается и улучшается [1–4].

Технология бетона на сегодняшний день проделала длительный путь в области получения материалов с уникальными свойствами, которые расширили сферу применения бетонов, их номенклатуру. В XXI веке строительная отрасль представляет огромный диапазон по усовершенствованию физико-механических характеристик изделий и конструкций. Данное положение считается разумной реакцией рынка на возрастание темпов строительства и интереса потребителей в приобретении качественных и недорогих строительных материалов [5]. Повышенный интерес здесь в первую очередь относится к тяжелому бетону. Поскольку данный материал используется фактически на всех строительных площадках и предприятиях ЖБИ, то представить его в «классическом виде», т.е. из цемента, песка, щебня и воды, весьма трудно.

В современном строительстве при возведении зданий, сооружений перспективно применение материалов, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками. В настоящее время многие исследователи уделяют особое внимание созданию мелкозернистых бетонов

особо плотной структуры, которые характеризуются высокими физико-механическими свойствами и в первую очередь прочностными показателями. Прочностные характеристики бетона и других цементных композитов обуславливают долговечность и надёжность бетонных, ж/б изделий и конструкций [3, 6]. Прочность цементного композита имеет прямую зависимость от его состава, например, при снижении количественного содержания вяжущего происходит падение прочности материала. Повышая однородность и плотность материала, можно достичь достаточно высоких его прочностных свойств. Увеличить однородность бетона можно благодаря добавлению мелких заполнителей. Это происходит за счет уменьшения промежуточной зоны между заполнителем и цементным камнем, в результате значительно сокращается количество пустот и понижения В/Ц [4].

Проблема повышения качества бетона и железобетона и на сегодняшний день является актуальной, но без применения новых материалов в технологии производства бетона, она не может быть абсолютно успешно реализована [7].

Современные методы получения бетона основываются на использовании химических модификаторов разного типа, нанодобавок и микрозаполнителей [8, 9], которые позволяют регулировать свойства материала.

Среди методов улучшения свойств бетона на практике использование модифицирующих добавок считается одним из наиболее действенных. Для повышения прочностных показателей и, в частности, прочности при изгибе в составы вводится дисперсная арматура [10, 11, 12] или применяется технология изготовления бетонов на комплексных связующих [13, 14]. Усовершенствовать качество мелкозернистого бетона, с целью достижения подвижности и уменьшения объема воды, а также снижения расхода вяжущего можно благодаря использованию химических добавок [5, 6, 8, 15, 16]. Следует отметить, что в цементно-песчаных смесях с большим количеством цемента необходимо применять суперпластификаторы.

Понятие долговечность цементного композита идет параллельно с понятием химические добавки. В первую очередь это касается морозостойкости и водонепроницаемости цементного композита. Благодаря применению структурирующего действия модификаторов, можно добиться улучшенных показателей материала по морозостойкости и водонепроницаемости [17, 18]. Суть заключается в видоизменении структуры порового пространства цементного камня, благодаря созданию группы небольших относительно замкнутых пор разнообразной шаровидной формы [9, 19, 20].

Применение химических добавок относится к одному из самых несложных технологических приёмов, позволяющих добиться более усовершенствованных показателей цементных композитов [21]. При изучении характеристик бетонных смесей весьма интересны добавки, которые регулируют свойства бетонных и растворных смесей (подвижность, кинетику твердения, прочность, проницаемость, морозостойкость, коррозионную стойкость и т.д.). Это как правило группа добавок 1 согласно ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». Преобладающая часть продуктов, входящих в данную группу – поверхностно-активные вещества разной химической природы и строения. Большинство видов ПАВ могут использоваться для модификации бетона. Благодаря добавкам можно значительно снизить степень затрат на единицу продукции, улучшить качество огромной номенклатуры ж/б конструкций, увеличить жизненный цикл зданий и сооружений в целом [16].

По этой причине в мировом сообществе большое внимание уделяется к данной теме, хотя в этом направлении имеется значительный объем теоретических и экспериментальных исследова-

ний, практический опыт, но создание новых видов добавок продолжается, что требует новых положительных исследований.

Цель работы состоит в изучении влияния химических добавок на физико-механические свойства мелкозернистого бетона и в оптимизации их составов.

Материалы и методы. Для проведения исследований было использовано 13 составов мелкозернистых бетонов с разными комплексными добавками: «Суперпласт Прима», «Суперпласт Стандарт» и пластификатором «Эдванс Ультра», объединяющие в себе свойства суперпластификаторов и регуляторов сохранения подвижности бетонной смеси.

Каждый из использованных ниже добавок характеризуется комплексом благоприятных свойств:

- «Эданс Ультра» – высококачественный пластификатор, который регулирует и сохраняет подвижность товарного бетона. Основой добавки являются эфиры поликарбоксилатов и модифицированный ЛСТ, представляющие в целом сбалансированную композицию.

- «Суперпласт Прима» – комплексная добавка, представляющая химическое соединение полиметиленафталинсульфонатов разной молекулярной массы и поверхностно-активных веществ природного происхождения. Данный продукт рекомендуют использовать при производстве товарного бетона для укладки монолитных фундаментов, заливки стен для получения высокоподвижных, литых бетонных смесей и цементных композитов с высокими прочностными характеристиками.

- «Суперпласт Стандарт» является комплексной добавкой, состоящей из полиметиленафталинсульфонатов разной молекулярной массы, поверхностно-активных веществ природного происхождения, а также органических соединений. Целесообразно использовать для высокоподвижных и литых бетонных смесей. Данный продукт способствует достижению достаточно высокой прочности в ранние сроки твердения.

В качестве цементного вяжущего был использован портландцемент производства ООО «Сенгилеевский цементный завод» класса Цем 1 42,5 Б.

В качестве заполнителя для подбора состава мелкозернистого бетона на основе минерально-сырьевой базы Республики Мордовия выступал кварцевый песок Моргинского песчаного карьера со следующими физико-химическими характеристиками: влажность – 0,1 %, коэффициент фильтрации – 2,1 м/сут., истинная и насыпная

плотности песка равны $2,7 \text{ г/см}^3$ и $1\,300 \text{ кг/м}^3$, модуль крупности $M_k = 1,8$. По зерновому составу относится к группе мелких песков.

Бетонные смеси готовили с помощью бетоносмесителя. Количество компонентов в бетонной смеси определяли в расчете на 10 кг цемента. Объем воды регулировали таким образом, чтобы получить равноподвижные смеси. Готовая бетонная смесь заливалась в стандартные формы размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, заранее смазанные парафином, и простукивалась шпателем для равномерного распределения смеси. После отверждения цементных композитов в течение 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях, были проведены физико-механические исследования.

Исследуемыми свойствами являлись прочность на сжатие и модуль упругости. Испытания проводились следующим образом.

Одной из выбранных граней образцы-кубы устанавливают на нижнюю опорную плиту пресса центрально по отношению к его продольной оси, ориентируясь на риски, которые указаны на плите испытательной машины. Затем верхнюю плиту пресса совмещают с верхней опорной частью образца таким образом, чтобы их плоскости целиком прилегали одна к другой. Напряжение в материале при нагружении должно возрастать непрерывно с неизменной скоростью до его деструкции.

Прочность бетона R , МПа на сжатие вычисляется:

$$R = k \cdot N / A \quad (1)$$

где N – разрушающая нагрузка, Н; A – рабочая площадь образца, мм^2 ; k – масштабный коэффициент, который находят в зависимости от размеров ребер образцов.

Прочность бетона в серии образцов находят как среднеарифметическое значение прочности испытанных в серии. Для расчёта одной точки прочности испытывалось по 3 образца каждого состава мелкозернистых бетонов.

Модуль упругости представляет собой отношение нормального напряжения сжатия к относительной деформации, которая устанавливается при последовательном нагружении образца по правилам, представленных в нормативной документации. Шкала силоизмерителя пресса должна соответствовать определенным требованиям, т.е. предполагаемые значения разрушающей нагрузки должны варьироваться в пределах 70–80 % от максимальной. Нагружение бетонного образца до значения нагрузки, которая составляет $(40 \pm 5 \%) \cdot R_{\text{раз}}$ (разрушающая нагрузка, измеренная по шкале силоизмерителя пресса), выполняют постепенно, по 10 % от ожидаемых $R_{\text{раз}}$,

придерживая в рамках каждой ступени скорость нагружения $(0,6 \pm 0,2) \text{ МПа/с}$. Нагрузку на каждом этапе нагружения выдерживают, примерно, 4 минуты и определяют значения индикаторов в начале и в конце выдержки ступени. Когда показатель нагрузки становится равным $(40 \pm 5 \%) \cdot R_{\text{раз}}$, приборы снимают с образца, затем последующие нагружения до разрушения материала выполняют безостановочно с постоянной скоростью.

Модуль упругости E определяют для каждого образца при уровне нагрузки, которая представляет собой 30 % от разрушающей:

$$E = \sigma_1 / \varepsilon_{1y} \quad (2)$$

где $\sigma_1 = P_1 / F$ – приращение напряжения от условного нуля до показателя внешней нагрузки, составляющей 30 % от разрушения; P_1 – приращение внешней нагрузки; ε_{1y} – приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, установленное в начале каждой ступени ее приложения.

Значения прочности при сжатии и модуля упругости рассчитывались в относительных единицах измерения.

$$R_{\text{сж}} / R_{\text{сж.к.с.}} \quad (3)$$

$$E / E_{\text{к.с.}} \quad (4)$$

где $R_{\text{сж}}$ – абсолютное значение прочности при сжатии состава с добавкой, МПа; $R_{\text{сж.к.с.}}$ – абсолютное значение прочности при сжатии контрольного состава (без добавки), МПа; E – абсолютное значение модуля упругости состава с добавкой, МПа; $E_{\text{к.с.}}$ – абсолютное значение модуля упругости контрольного состава (без добавки).

Основная часть. Прочностные и деформативные свойства цементных композитов считаются одними из наиболее важных характеристик в строительстве, которые характеризуют их сопротивление разрушению, а также определяют целостность и работоспособность конструкций.

Предлагаемая работа ориентирована на рассмотрение вопросов, отмеченных ранее. Далее в таблице 1 представлены составы изготовленных мелкозернистых бетонов.

С целью получения физико-механических показателей разработанных бетонов были выполнены кратковременные исследования, которые складывались из испытаний на сжатие кубических образцов.

В таблице 2 приведены относительные значения прочности при сжатии и модуля упругости образцов мелкозернистых бетонов в возрасте 28 суток.

Таблица 1

Компоненты составов экспериментальных образцов

№ состава	Вид добавки	Количество добавки, %	Количество цемента %	Количество песка, %	Количество воды, %
1	Эдванс Ультра	0,120	21,094	63,282	15,504
2		0,603	21,094	63,282	15,021
3		1,086	21,094	63,282	14,538
4		1,569	21,094	63,282	14,055
5	Суперпласт Прима	0,187	21,237	63,710	14,866
6		0,280	21,236	63,709	14,774
7		0,374	21,236	63,708	14,686
8		0,467	21,236	63,709	14,587
9	Суперпласт Стандарт	0,208	21,278	63,834	14,681
10		0,346	21,278	63,834	14,543
11		0,486	21,307	63,921	14,284
12		0,623	21,248	63,744	14,385
13	—	—	20,833	62,499	16,666

*Примечание: количество добавки рассчитано на 10 кг вяжущего.

Таблица 2

Относительные показатели прочности и модуля упругости модифицированных бетонов

№ составов	Прочность при сжатии	Модуль упругости
1	1,07	1,19
2	1,51	1,47
3	1,94	1,69
4	1,93	1,61
5	1,05	1,15
6	1,13	1,25
7	1,25	1,37
8	1,25	1,33
9	1,10	1,13
10	1,19	1,23
11	1,27	1,32
12	1,23	1,29
13	1	1

Как видно из таблиц 1-2, с увеличением в составах количества пластификатора «Эдванс Ультра» и комплексных добавок «Суперпласт Прима» и «Суперпласт Стандарт» до оптимального уровня наблюдается повышение прочностных свойств и деформативности.

На рисунках 1–2 показано изменение свойств разработанных мелкозернистых бетонов с модифицирующими добавками по отношению к составу без добавки.

Проведём анализ результатов по составам, отличающихся по виду использованного суперпластификатора и количественного содержания.

Рассмотрим составы № 1 – 4, где в роли модификатора выступал препарат «Эдванс Ультра» (рис. 1). Из гистограммы следует, что при увеличении концентрации пластификатора с 0,057 л до 0,744 л в составах относительные значения кубиковой прочности при сжатии изменяются от 1,07 до 1,93. При этом наибольшая относительная кубиковая прочность составляет 1,94, при количестве «Эдванс Ультра» – 0,515 л.

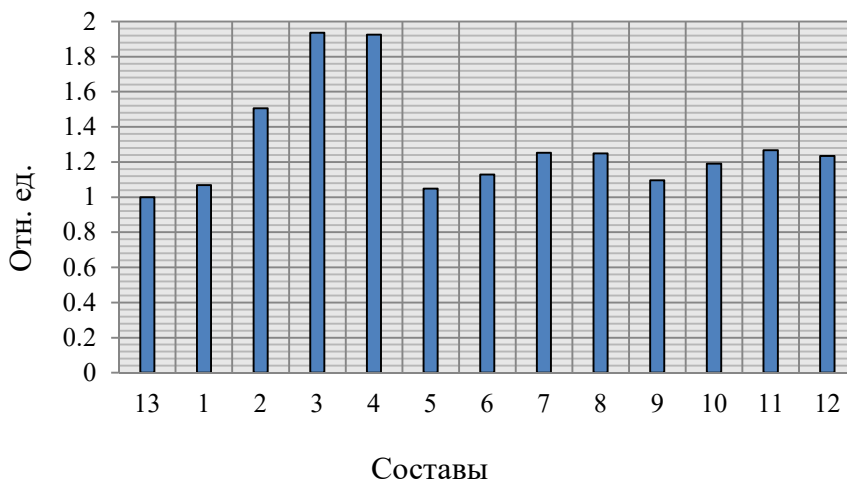


Рис. 1. Прочность при сжатии мелкозернистых бетонов, отвержденных в нормальных температурно-влажностных условиях

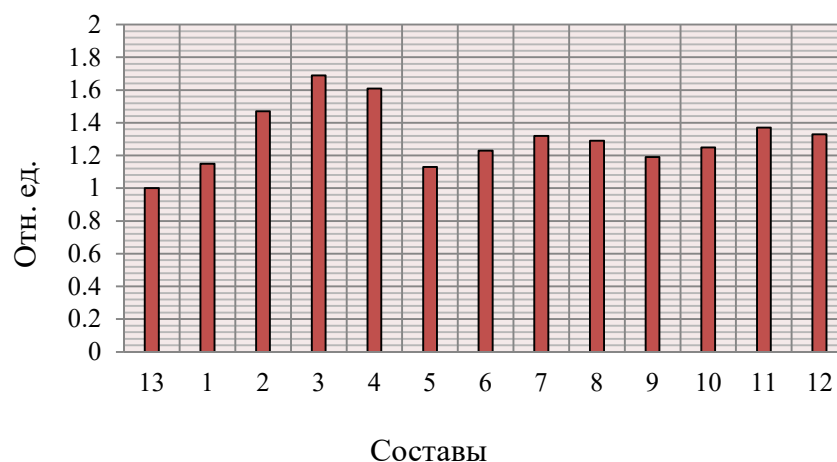


Рис. 2. Модуль упругости мелкозернистых бетонов, отвержденных в нормальных температурно-влажностных условиях

Согласно диаграмме 1 видно, что применение «Эдванс Ультра» в составе № 3 привело к увеличению прочности при сжатии по сравнению с составом №1 в 1,81 раза и в 1,94 раза по сравнению с составом № 13, где пластифицирующая добавка отсутствует.

Аналогичные зависимости характерны и для бетонов с комплексными добавками. Наибольшее относительное значение прочности при сжатии с «Суперпласт Прима» достигнуто в составе № 7, а с «Суперпласт Стандарт» в составе № 12 (рис. 1).

Следует отметить, что относительные значения модуля упругости также увеличиваются от повышения концентрации модификатора (рис. 2). Более детально разберем составы № 9 – 12 с «Суперпласт Стандарт». При увеличении комплексной добавки в составах с 0,098 л до 0,293 л относительные значения модуля упругости находятся в диапазоне 1,19–1,33. Наибольший модуль упругости соответствует составу содержащей «Суперпласт Стандарт» в количестве 0,228 л.

Согласно диаграмме 2 видно, что применение «Суперпласт Стандарт» в составе № 11 привело к повышению модуля упругости в сравнении с составом № 9 в 1,15 раз.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можем сделать вывод, что наибольшие кубиковая прочность при сжатии и модуль упругости достигнуты с пластификатором «Эдванс Ультра». Данный модификатор является более эффективным по сравнению с комплексными добавками «Суперпласт Прима» и «Суперпласт Стандарт». Наилучшие относительные значения прочности при сжатии и модуля упругости достигнуты в составах № 3, № 7, № 11.

Выводы.

Разработаны составы мелкозернистых бетонов с различными модификаторами: «Эдванс Ультра», «Суперпласт Прима», «Суперпласт Стандарт».

Наилучшие относительные значения прочности при сжатии и модуля упругости были достигнуты в составах №3, №7, №11. Улучшение основных физико-механических показателей происходило и с минимальным количеством добавки в составах, в сравнении с бездобавочным составом №13, с которым получены менее удачные результаты. Следовательно, можно сделать вывод, что применение «Эдванс Ультра», «Суперпласт Прима», «Суперпласт Стандарт» в разных концентрациях способствует улучшению прочностных свойств и деформативности, т.е. данные модифицирующие добавки положительно воздействуют на показатели мелкозернистых бетонов.

Согласно проведенным исследованиям, наиболее эффективным модификатором, из используемых в работе, является пластификатор «Эдванс Ультра», поскольку с ним достигнуты наилучшие основные физико-механические характеристики по сравнению с «Суперпласт Прима» и «Суперпласт Стандарт».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Каприелов С.С., Шенфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны в конструкциях высотных зданий // II Международный форум архитектуры, строительства, реконструкции городов, строительных технологий и материалов. Москва. 2008. С. 29–38.
- Калашников В.И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2015. № 11–12. С. 27–35.
- Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Прочность и параметры разрушения цементных композитов: монография. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2015. 360 с.
- Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2003. 50 с.

5. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А., Шулдяков К.В. Современный суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективности // Строительные материалы. 2016. С. 21–25.
6. Ананенко А.А., Нижевясов В.В., Успенский А.С. Мелкозернистые бетоны с комплексными модификаторами // Известия высших учебных заведений Строительство. 2005. №5. С. 16–27.
7. Ерофеев В.Т., Дергунова А.В. Экономическая эффективность повышения долговечности строительных конструкций // Строительные материалы. 2008. №2. С. 8–89.
8. Калашников В.И., Тараканов О.В., Ерофеева И.В. Сухие реакционно-порошковые бетонные смеси и перспективы их использования // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Актуальные достижения европейской науки». София, 2015. Т. 13. С. 90–93.
9. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В., Архипов В.П. Концепция бетонов стратегического развития пластифицированных порошково-активированных нового поколения // Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016): Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции. 2016. 36 с.
10. Булгаков А.Г., Ерофеева И.В., Иштуин А.А., Афонин В.В., Моисеев В.В. Прочность на растяжение при изгибе бетонов нового поколения // Эксперт: теория и практика. 2022. №2 (17). С. 21–27.
11. Калашников В.И., Ананьев С.В. Высокопрочные и особовысокопрочные бетоны с дисперсным армированием // Строительные материалы. № 6. 2009. С. 59–61.
12. Lesovik R.V., Klyuyev S.V., Klyuyev A.V., Ntrebenko A.V., Yerofeyev V.T., Durachenko A.V. Fine-grain concrete reinforced by polypropylene fiber // Research Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 10. No. 10. Pp. 624–628.
13. Bobrishev A.A., Shafigullin L.N., Erofeev V.T., Treshchev A.A., Sotnikov M.I., Vyacheslav A. Study of effects of redispersable latex powders on hardening kinetics of cement-sand composites // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol.7. No. 4. Pp. 795–802.
14. Erofeev V., Bobryshev A., Lakhno A., Shafigullin L., Khalilov I., Sibgatullin K., Igtisamov R. Theoretical evaluation of rheological state of sand cement composite systems with polyoxyethylene additive using topological dynamics concept // Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. Pp. 96–103.
15. Тараканов О.В., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. Химические добавки в растворы и бетоны: монография: монография. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия. 2023. 168 с.
16. Батраков В.Г., Фаликмана В.Р. Химические добавки для бетонов: сборник научных трудов. НИИ бетона и железобетона. М.: НИИЖБ, 1987. 169 с.
17. Добшиц Л.М. Долговечность бетонов транспортных сооружений и пути ее повышения // Технологии бетонов. 2014. № 4. С. 32–37.
18. Erofeev V.T. Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. Pp. 1444–1447.
19. Самченко С.В., Зарин Д.А., Лам Н.З.Т., Лам Т.В. Влияние содержания комплексных добавок на деформационные характеристики цемента // Строительство: наука и образование. 2023. №1 (13). С. 137–151.
20. Лукутцова Н.П., Матвеева Е.Г., Фокин Д.Е. Исследование мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурной добавкой // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 6–11.
21. Макридин Н.И., Максимова Н.И., Овсянкова Ю.В. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Часть 2 // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 72–75.

Информация об авторах

Ледяйкина Оксана Васильевна, аспирант кафедры прикладной механики. E-mail: oksana.ledyaikina.97@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Институт Архитектуры и Строительства. Россия, 430000, Саранск, ул. Советская, д. 24.

Ледяйкин Никита Васильевич, аспирант кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: nikita.1234.nikita@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Институт Архитектуры и Строительства. Россия, 430000, Саранск, ул. Советская, д. 24.

Поступила 05.02.2024 г.

© Ледяйкина О.В., Ледяйкин Н.В., 2024

**Ledyaykina O.V., Ledyaykin N.V.*

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev

**E-mail: oksana.ledyaykina.97@mail.ru*

STUDY OF THE INFLUENCE OF MODIFIED ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

Abstract. *The problem of improving the efficiency of the quality of concrete and reinforced concrete is a promising direction that cannot be fully realized without the use of chemical additives. Additives are considered a simple way to improve the performance of a cement composite; they allow to reduce the amount of binder and regulate the technological characteristics of the concrete mixture and the physical and mechanical properties of the material, as well as increase the durability of buildings and structures. Currently, a large number of additives are used, introduced into concrete mixtures, which are classified according to their mechanism of action, chemical composition and other characteristics. The purpose of this research was to optimize the compositions of concrete with additives in terms of strength and deformability. The object of the study is fine-grained concrete produced on a cement binder using various modifying additives, for which modifiers such as «Advance Ultra», «Superplast Prima», «Superplast Standard» have been studied. The studied parameters were the compressive strength and elastic modulus of fine-grained concrete. It was revealed that the introduction of modifying additives helped to increase the studied indicators. At the same time, the greatest increase in strength and elastic modulus is achieved when using the Advance Ultra plasticizer.*

Keywords: *fine-grained concrete, modifying additives, physical and mechanical properties, strength, deformability.*

REFERENCES

1. Kapriyelov S.S., Shenfeld A.V., Kardumyan G.S. New modified concretes in high-rise building structures [Novyye modifitsirovannyye betony v konstruktsiyakh vysotnykh zdaniy]. II International Forum of Architecture, Construction, Urban Reconstruction, Construction Technologies and Materials. Moscow. 2008. Pp. 29–38. (rus)
2. Kalashnikov V.I. How to transform old-generation concretes into high-performance new-generation concretes [Kak prevratit betony starogo pokoleniya v vysokoeffektivnyye betony novogo pokoleniya]. Concrete technologies. 2015. No. 11–12. Pp. 27–35. (rus)
3. Maksimov I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Skachkov Yu.P. Strength and fracture parameters of cement composites [Prochnost i parametry razrusheniya tsementnykh kompozitov]. Saransk: Mordovian University Publishing House. 2015. 360 p. (rus)
4. Bazhenov Yu.M. Concrete technology [Tekhnologiya betona]. M.: ACB, 2003. 50 p. (rus)
5. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Chernykh T.N., Orlov A.A., Shuldyakov K.V. Modern superplasticizers for concrete, features of their use and effectiveness [Sovremennyy superplastifikatory dlya betonov, osobennosti ikh primeneniya i effektivnosti]. Construction Materials. 2016. Pp. 21–25. (rus)
6. Ananenko A.A., Nizhevyasov V.V., Uspensky A.S. Fine-grained concrete with complex modifiers [Melkozernistyye betony s kompleksnymi modifikatorami]. News of higher educational institutions Construction. 2005. No. 5. Pp. 16–27. (rus)
7. Erofeev V.T., Dergunova A.V. Ekonomicheskaya effektivnost povysheniya dolgovechnosti stroitelnykh konstruktsiy [Ekonomicheskaya effektivnost povysheniya dolgovechnosti stroitelnykh konstruktsiy]. Construction Materials. 2008. No. 2. Pp. 8–89. (rus)
8. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Erofeeva I.V. Dry reaction-powder concrete mixtures and prospects for their use [Sukhiye reaktsionno-poroshkovyye betonnyye smesi i perspektivy ikh ispolzovaniya]. Materials of the XI International Scientific and Practical Conference "Current Achievements of European Science". Sofia. Vol. 13. 2015. Pp. 90–93. (rus)
9. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V., Arkhipov V.P. The concept of strategic development of plasticized powder-activated concrete of a new generation [Kontseptsiya betonov strategicheskogo razvitiya plastifitsirovannykh poroshkovo-aktivirovannykh novogo pokoleniya]. High-strength cement concrete: technologies, structures, economics (VPB-2016): Collection of abstracts of reports of the international scientific and technical conference. 2016. 36 p. (rus)
10. Bulgakov A.G., Erofeeva I.V., Ishutin A.A., Afonin V.V., Moiseev V.V. Tensile strength in bending of new generation concretes [Prochnost na raspyazheniye pri izgibe betonov novogo pokoleniya]. Expert: theory and practice. 2022. No. 2 (17). Pp. 21–27. (rus)
11. Kalashnikov V.I., Ananyev S.V. High-strength and extra-high-strength concrete with dispersed reinforcement [Vysokoprochnyye i osobo-

vysokoprochnyye betony s dispersnym armirovani-
yem]. Construction Materials. No. 6. 2009. Pp. 59–
61. (rus)

12. Lesovik R.V., Klyuyev S.V., Klyuyev A.V.,
Netrebenko A.V., Yerofeyev V.T., Durachenko A.V.
Fine-grain concrete reinforced by polypropylene fi-
ber. Research Journal of Applied Sciences. 2015.
Vol. 10. No. 10. Pp. 624–628.

13. Bobrishev A.A., Shafigullin L.N., Erofeev
V.T., Treshchev A.A., Sotnikov M.I., Vyacheslav A.
Study of effects of redispersable latex powders on
hardening kinetics of cement-sand composites. Re-
search Journal of Pharmaceutical, Biological and
Chemical Sciences. 2016. Vol.7. No. 4. Pp. 795–802.

14. Erofeev V., Bobryshev A., Lakhno A.,
Shafigullin L., Khalilov I., Sibgatullin K., Igtisamov
R. Theoretical evaluation of rheological state of sand
cement composite systems with polyoxyethylene ad-
ditive using topological dynamics concept. Solid
State Phenomena. 2016. Vol. 871. Pp. 96–103.

15. Tarakanov O.V., Erofeev V.T., Smirnov
V.F. Chemical additives in mortars and concretes:
monograph [Khimicheskiye dobavki v rastvory i bet-
ony]. Moscow, Vologda: Infra-Engineering. 2023.
168 p. (rus)

16. Batrakov V.G., Falikmana V.R. Chemical
additives for concrete [Khimicheskiye dobavki dlya
betonov]. M.: NIIZhB, 1987. 169 p. (rus)

17. Dobshits L. M. Durability of concrete in
transport structures and ways to increase it [Dol-
govechnost betonov transportnykh sooruzheniy i puti
eye povysheniya]. Concrete technologies. 2014. No.
4. Pp. 32–37. (rus)

18. Erofeev V.T. Frame Construction Compo-
sites for Buildings and Structures in Aggressive En-
vironments. Procedia Engineering. 2016. Vol. 165.
Pp. 1444–1447.

19. Samchenko S.V., Zarin D.A., Lam N.Z.T.,
Lam T.V. Influence of the content of complex addi-
tives on the deformation characteristics of cement
[Vliyaniye sodержaniya kompleksnykh dobavok na
deformatsionnyye kharakteristiki tsementa]. Con-
struction: science and education. 2023. Vol. 13. No.
1 Pp. 137–151. (rus)

20. Lukutsova N.P., Matveeva E.G., Fokin D.E.
Study of fine-grained concrete modified with a
nanostructured additive [Issledovaniye melkozernis-
togo betona. modifitsirovannogo nanostrukturnoy
dobavkoy]. Bulletin of BSTU named after. V.G.
Shukhova. 2010. No. 4. Pp. 6–11. (rus)

21. Makridin N.I., Maksimova N.I., Ovsyukova
Yu.V. Long-term strength of modified cement stone
structure. Part 2 [Dolgovremennaya prochnost mod-
ifitsirovannoy struktury tsementnogo kamnya. Chast
2]. Construction Materials. 2011. No. 7. Pp. 72–75.
(rus)

Information about the authors

Ledyaykina, Oksana V. Postgraduate student of the Department of Applied Mechanics.
E-mail: oksana.ledyaykina.97@mail.ru. National Research Mordovian State University named after. N.P. Ogareva, Insti-
tute of Architecture and Construction. Russia, 430000, Saransk, st. Sovetskaya, 24.

Ledyaykin, Nikita V. Postgraduate student at the Department of Construction Materials and Technologies.
E-mail: nikita.1234.nikita@mail.ru. National Research Mordovian State University named after. N.P. Ogareva, Institute
of Architecture and Construction. Russia, 430000, Saransk, st. Sovetskaya, 24.

Received 05.02.2024

Для цитирования:

Ледяйкина О.В., Ледяйкин Н.В. Исследование влияния модифицированных добавок на свойства бетона
// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №4. С. 8–15. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-8-15

For citation:

Ledyaykina O.V., Ledyaykin N.V. Study of the influence of modified additives on the properties of concrete.
Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 4. Pp. 8–15. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-8-
15