

Технология Производства Высококачественного Бетона На Основе Местного Сырья

*Акрамов Хусниддин Ахорович¹, Сабуров Хурсанд Мамбетсалийевич²,
Жумамуратова Мадина Зойр ккзи³*

Аннотация: Исследовали физико-механические свойства бетонов, модифицированных суперпластификаторами на основе сложных эфиров поликарбоксилатов. Основное внимание было уделено разработке и оптимизации составов бетонных смесей, содержащих импортозамещающие суперпластификаторы, изготовленные из отечественного сырья и вторичных материалов. Вначале на приборе Вика исследовали влияние суперпластификатора СДж-1 на нормальную плотность цементного теста. Оптимальное содержание СДж-1 в цементном тесте составляло 0,6 % массы цемента. Влияние суперпластификатора СДж-1 на подвижность бетонной смеси определяли по конусному осадку. Результаты экспериментальных исследований показали, что применение суперпластификатора СДж-1 позволяет существенно снизить водоцементное отношение и улучшить реологические свойства бетонных смесей, что, в свою очередь, приводит к повышению прочности и долговечности бетонов.

Ключевые слова: суперпластификатор СДж-1, сложные эфиры поликарбоксилатов, бетонные смеси, физико- механические свойства, прибор Вика.

Введение. В настоящее время ведутся исследования, направленные на повышение прочности, долговечности и стойкости бетонных и железобетонных материалов при их службе в разных климатических условиях, на улучшение физико-химических свойств материалов введением в их состав добавок-суперпластификаторов, а также на создание и совершенствование энергоресурсосберегающих технологий производства бетона и железобетонных материалов [1, 2]. При этом особое значение имеют вопросы, связанные с определением состава эффективных железобетонных изделий на основе низкосортного отечественного сырья и с использованием промышленных и сельскохозяйственных отходов. Однако проводимые научные работы в этой области необходимы дальнейшие исследования [3, 4].

Суперпластификаторы (СП) - это добавки, регулирующие консистенцию бетонных смесей, и в группе пластифицирующих добавок занимают первое место. Это связано с очень высоким эффектом разбавления бетонной смеси без снижения прочности бетона в течение всех периодов испытаний. Сочетание составов новых видов суперпластификаторов и режимов их синтеза эффективно воздействует на количество воды в бетонных смесях и их реологические свойства [5]. При этом важна способность молекул свободных карбоксилатных групп (COO) поглощаться головной цепью. Согласно общепринятому мнению, полимерные пленки образуют на поверхности цементных зерен гели, которые повышают сцепление цементных зерен и обеспечивают удобную укладку бетонной смеси за счет стерильного эффекта смазки [6].

По сравнению с поликарбоксилатами нафталин и меланхолформальдегиды обладают более низкой степенью отделения (селективностью) и в большей степени адсорбируются в

¹ Научный консультант Ташкентский архитектурно-строительный университет кафедра “Технология строительных материалов и конструкций” доктор технических наук профессор

² Докторант (DcS) кафедры “Строительство и инженерная окружающая среда” Ташкентского архитектурно-строительного университета

³ Ташкентский архитектурно-строительный университет “Инженерия” факультет кафедра “Строительство и инженерная окружающая среда” студентка



алюминатной фазе $\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и клинкере. Наряду с этим в публикации [7] освещаются возможности образования органоминеральных фаз на поверхности цементных зерен при взаимодействии вяжущего с суперпластификатором СЗА. Возможно, благодаря этому эффективность добавок поликарбоксилатного и акрилатного типов могла быть намного выше. Кроме того, предполагается, что структура длинных молекулярных цепочек-многогранников обуславливает чисто стерильный (пространственный) эффект проталкивания между частицами цемента, повышая тем самым возбудимость цементных систем [7]. На рис. 1 показана модель взаимодействия многогранной структуры с поверхностью цементного зерна.

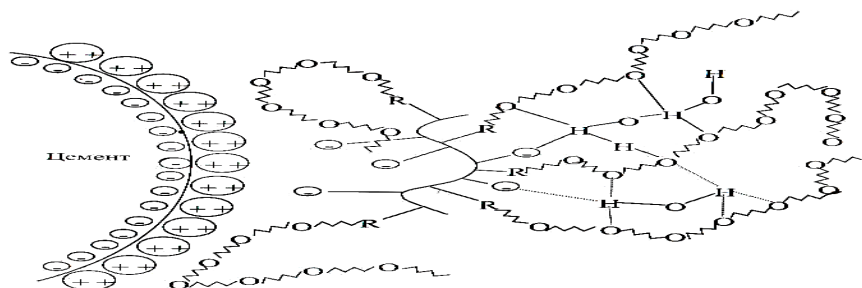


Рис. 1. Модель взаимодействия поликарбоксилатной структуры с поверхностью цементного зерна

Из приведенных данных можно сделать вывод, что роль воды как бетонной смеси и компонента бетона снижается. При использовании добавок нового поколения промежуточные зазоры между частицами цемента смачиваются уже на стадии смешивания. Благодаря высокой плотности цементной матрицы и свойству не создавать гидроизоляцию прочность и долговечность дополнительно добавляемых бетонов находится на гораздо более высоком уровне, чем у обычных бетонов. Соответственно, меняются требования к минеральному составу цемента и к другим их характеристикам.

Их основная структура будет состоять из цепочки молекул с гребенчатой структурой, свободных карбоксильных групп и натриевых солей. Полиэфирные группы, соединенные химическими связями с поликарбоксилатами, образуют боковые цепочки (рис. 2). В результате этого достигается потенциальная возможность, согласно которой количество воды в составе бетонной смеси значительно снижается, а высокая подвижность бетонной смеси сохраняется в течение гораздо более длительного времени.

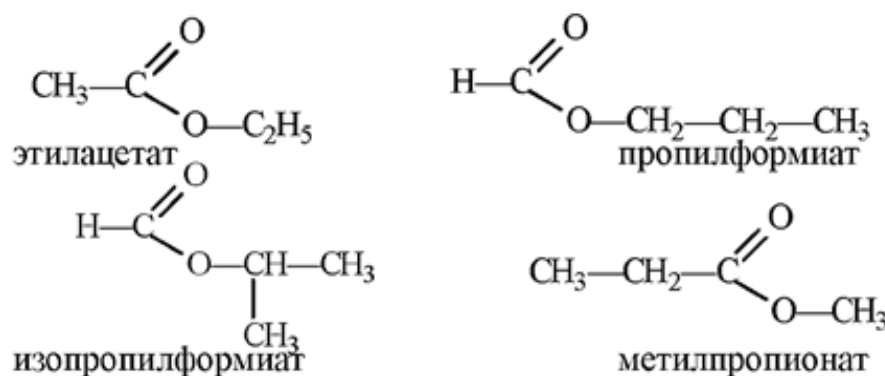


Рис. 2. Структура сложных поликарбоксилатных изомеров эфиров в составе $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

Для определения влияния модифицированных бетонов, состоящих из новых суперпластификаторов на основе сложных эфиров поликарбоксилатов, на физико-механические свойства, а также на структуру и свойства цементных композитов были проведены экспериментальные исследования. Для этого использовали суперпластификатор СДж-1, вяжущие вещества и наполнители: мелкий и крупный.



Суперпластификатор СДж-1. Для синтеза СДж-1 в смеситель помещали 450 г ГИПАНа (гидролизованного полиакрилонитрила производства АО «Навоиазот») и 310 г поликорбацилатного в массовом соотношении 1,45 : 1, после чего смесь тщательно перемешивали при 600 °С в течение 45 мин. К подготовленной смеси добавляли 35 %-ный водный раствор формальдегида в количестве 230 мл. Затем смесь перемешивали в течение 4 ч при 900 °С и атмосферном давлении. Полученный олигомер высушивали при 60 °С. Выход продукта, который предполагалось получить, составил 100 % [3].

Вязущие вещества. Для изготовления бетона на портландцементе был применен бетон марки ПЦ 600-D0 (ГОСТ 10178-85) производства ОАО «Охангаронцемент». Удельная поверхность цемента 4000-4800 см²/г, фактическая плотность 3,1 г/см³, плотность в состоянии разлива 1300 кг/см³. Изучаемыми добавками в этих цементах являются добавляемый цементный камень, начальное сгущение, начало и конец периода сгущения, а также физические и механические свойства цементно-песчаной смеси, которые определяются в соответствии с ГОСТ 310.4-81 и ГОСТ 310.1-76.

Мелкий наполнитель. В качестве мелкого наполнителя для бетона использовали песок Чинозный (Ташкентской обл.) реальной плотностью 2,6 г/см³ и плотностью 1,653 кг/см³ в рассыпанном состоянии с зазором 36,42 %. Песок соответствует требованиям ГОСТ 8735-88 и ГОСТ 8736-93 и представляет собой чешуйчатую породу с размерами зерен от 0,15 до 5 мм. По составу пески делятся на кремнистые, сланцевые, известняковые и пемзовые разновидности разных цветов.

Крупный наполнитель. В качестве крупного наполнителя был применен кремневый камень из гравия реки Чирчик, гранулометрический состав которого был определен в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0-97. Поверхность гравия гладкая, округлой формы, плотностью 2700 кг/см³ при насыпной плотности 1600 кг/см³. Плотный осадок, устойчивый к извержениям горных пород, метаморфическим изменениям и воздействию водной среды, получают путем измельчения горного хрусталя. Камень для обжига хрупкий, а поверхность шероховатая, что обеспечивает хорошее сцепление с цементным камнем. Поэтому при приготовлении высококачественных компонентов используют жало-камень. Кремень содержит мало почвы, пыли и органических примесей.

Методика определения нормальной густоты цемента и оптимальное содержание в нем суперпластификатора СДж-1

Для определения влияния цемента на его общее загустевание сначала в лабораторных условиях изготовили шесть смесей из портландцемента марки ПЦ 600-D0, суперпластификатора СДж-1 и воды. Составы смесей приведены в табл. 1.

Влияние суперпластификатора СДж-1 на нормальную густоту цементного теста определяли в соответствии с ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика. Для этого вместо иглы инструмента устанавливали металлическую ручку (киль), диаметр которой составлял 10 мм, а длина 50 мм. Суммарная масса подвижного стержня с металлической ручкой должна составлять (300 ± 2) г.

Методика изготовления бетонной смеси на основе суперпластификатора СДж-1

На рис. 4 показана принципиальная схема технологии изготовления бетонной смеси.



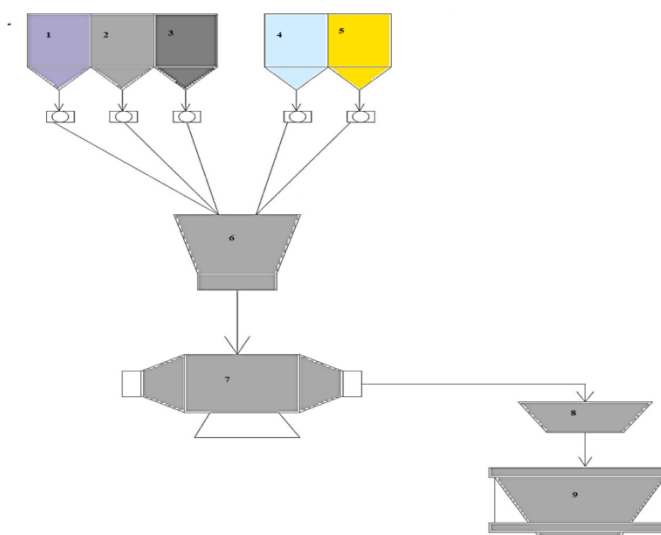


Рис. 4. Принципиальная схема технологии изготовления бетонной смеси:

1 - цемент; 2 - песок; 3 - щебень; 4 - вода; 5 - суперпластификатор; 6 - бойлер; 7 - смесемешалка; 8 - готовая смесь; 9 - формовочная машина

Цемент 1 поступает на производственную площадку и хранится в специальных контейнерах для устранения попадания влаги. Песок 2 очищают от примесей и сушат при необходимости. Щебневые компоненты 3 подготавливают для введения в смесь. Воду 4 используют чистую, соответствующую требованиям стандарта. Суперпластификатор 5 дозируют в соответствии с проектным составом смеси. Все компоненты дозируют и загружают в смеситель 7. Последовательность загрузки компонентов может быть разной, однако часто сначала загружают сухие компоненты (цемент, песок, щебень), а затем добавляют жидкие (воду и суперпластификатор СДж-1). Смеситель 7 обеспечивает равномерное смешивание всех компонентов до получения однородной массы. Длительность смешивания зависит от типа смесителя и свойств компонентов. Готовую смесь 8 транспортируют к формовочной машине 9 для дальнейшего использования. Важно своевременно доставить смесь к месту укладки для устранения ее загустевания и потери подвижности. Формовочная машина 9 обеспечивает укладку и уплотнение бетонной смеси в формы или на опалубку в зависимости от типа конструкции. Формование может включать вибрационное уплотнение для достижения максимальной плотности и устранения воздушных пустот.

Для исследования влияния количества суперпластификатора СДж-1 на физико-механические свойства бетона была использована бетонная композиция марки М-800, изготовленная ООО «Бинокор бетон сервис» на заводском бетонном узле В60.

На стальной каркас или бетонный пол устанавливают вырезанный конус, который накрывают плоской деревянной доской, а его внутреннюю поверхность смачивают водой. Срезанным конусом с двумя ножками на инструмент укладывают полученную для испытания бетонную смесь в три слоя на одинаковой высоте. Каждый слой уплотняют 25 раз стальным стержнем. Затем излишки смеси на срезанном конусе размазывают по его краям, а поверхность выравнивают лопаткой. Форму поднимают в вертикальное положение, придерживая ее за ленту, и устанавливают рядом с бетонной стяжкой, которая принимает форму срезанного конуса. Было обнаружено, что он опустится после того, как срезанный конус будет извлечен из бетонного ограждения.

Методика определения механических свойств бетона

Механические свойства бетона (прочность) определяют с применением гидравлического пресса по ГОСТ 74730000-2010. При испытании и разметке используют бетонные образцы с ребром 10



см. Образцы, подлежащие испытанию, должны иметь призматическую форму. Перед испытанием образца дважды измеряют его боковые стороны поверхности, на которую воздействует усилие, и рассчитывают площадь поперечного сечения с разрешением $0,1 \text{ см}^2$.

Усилие, прилагаемое к образцу для испытания на сжатие, должно располагаться параллельно поверхности оседания смеси в форме. Образец бетона устанавливают в центр пресс-формы и прикладывают к нему усилие со скоростью $0,2-0,3 \text{ м/с}^2$ до тех пор, пока образец не разрушится. Среднеарифметическое значение результатов, полученных при испытании трех образцов бетона, представляет собой предел прочности бетона при сжатии R_c , МПа, который рассчитывается по формуле $R_c = P/S$, где P - прикладываемое усилие; S - площадь образца.

Основная часть. Перед подготовкой бетонной композиции исследовали влияние цемента на общее загустевание. Для этого использовали вяжущее с суперпластификатором СДж-1, оптимальные составы указаны в табл.1. При проведении экспериментов наблюдалась высокая расслаиваемость цементного теста при введении добавки суперпластификатора СДж-1. Установлено, что оптимальный расход воды, добавляемой в цементную композицию, должен быть определен в соответствии с составами, приведенными в табл.1.

Таблица 1. Влияние суперпластификатора СДж-1 на нормальную густоту цемента

Состав	Цемент марки ПЦ 600, г	Количество суперпластификатора СДж-1, % массы цемента	Количество воды		Дисплей для инструментов Вика, мм	Глубина погружения в воду, мм
			см ³	%		
№ 1	400	-	112	28	6	34
№ 2	400	0,2	88	22	6	34
№ 3	400	0,4	84	21	5	35
№ 4	400	0,6	72	18	5	35
№ 5	400	0,8	80	20	5	35
№ 6	400	1,0	104	26	5	35

Результаты исследований влияния суперпластификатора СДж-1 на поверхностное утолщения цемента показали (см. табл. 1), что оптимальное содержание суперпластификатора СДж-1 было установлено 0,6 % массы цемента. При этом расход воды снизился на 35,7 % по сравнению с контрольной смесью (состав № 1 без суперпластификатора). Такое содержание суперпластификатора обеспечило получение оптимальных характеристик нормальной толщины цемента и минимальную глубину погружения в воду.

Для дальнейшего исследования влияния суперпластификатора СДж-1 на бетонные смеси были изготовлены три разных бетонных состава (№ 1-3), рассчитанных на 10 л каждый. Размеры бетонных образцов: высота h 30 см, диаметр основания D_1 20 см, диаметр вершины D_2 10 см. Бетонная смесь укладывали в виде конуса поперечного сечения и уплотняли согласно установленным правилам (рис. 6). Результаты экспериментов показали, что позиционирование и уплотнение смеси являются важными факторами, влияющими на конечные характеристики бетона [8].

Оптимальное содержание суперпластификатора СДж-1 в цементной смеси (0,6 % от массы цемента) позволяет значительно снизить расход воды и улучшить характеристики бетонной смеси [4]. В табл. 2 приведено влияние суперпластификатора СДж-1 на состав бетонных смесей.



Таблица 2. Влияние суперпластификатора на затвердевание бетонного конуса (расход сырья на 1 м³)

Материал	Состав бетонной смеси (см. табл. 1)		
	№ 1	№ 2	№ 3
Портландцемент ПЦ 600-D0, кг	490	490	345
Песок Чиноз, кг	404	512,3	650
Камень (галька), кг	1332	1332	1332
Вода, л	190	161,3	110,4
СДж-1 (по отношению к цементной массе), %	-	0,6	0,6
Опускание конуса, см	4	5	4

По первому образцу № 1 на 1 м³ бетонной смеси (без суперпластификатора) было израсходовано 190 л воды, в результате чего ОК составило 4 см. Из табл. 2 видно, что при добавлении суперпластификатора СДж-1 к бетонной смеси образцу № 2 увеличивается ее подвижность с опусканием конуса до 5 см и уменьшается расход воды на 28,7 л. Кроме того, в смесь № 2 добавлено песка на 108,3 кг больше, чем в смесь № 1. Это объясняется тем, что вместо воды было увеличено содержание песка.

Из табл. 2 видно также, что для обеих бетонных смесей № 1 и 3 опускание конуса составило 4 см, т. е. обе марки бетона одинаковы. Сравнение этих смесей по составу показало, что бетонная смесь № 3 намного рентабельнее, поскольку для ее изготовления понадобится на 145 кг цемента и на 79,6 л воды меньше, чем для бетонной смеси № 1, а вместо цемента и воды дополнительно добавить песка на 246 кг больше, чем в бетонную смесь № 1.

Таким образом, введение суперпластификатора позволило:

- в смеси № 2 уменьшить количество воды на 15 % при увеличении опускания конуса на 1 см. Это показывает, что суперпластификатор улучшает подвижность смеси при сохранении или увеличении содержания песка и уменьшении количества воды.
- в смеси № 3 значительно снизить содержание воды (на 42 %) при сохранении аналогичного уровня подвижности (опускание конуса 4 см), что указывает на экономию воды и улучшение технологических характеристик смеси.

Исследование физико-механических свойств бетона на основе суперпластификатора СДж-1

Согласно результатам исследований введение суперпластификатора СДж-1 в состав бетонных смесей существенно повлияло на их физико-механические свойства. Было обнаружено, что суперпластификатор увеличивает высыхание бетонной смеси, снижая удобство укладки и потребность в воде (см. табл. 2), что улучшает физические свойства бетона (табл. 3), поскольку пониженное содержание воды в нем заменяется бетонной смесью.

Таблица 3. Влияние заменителя на физические свойства бетона

Бетонная смесь	Средняя плотность бетона, кг/м³		Пористость массы, образующейся в результате проникновения воды в затвердевший бетон, %
	в смешанном состоянии	в затвердевшем состоянии через 28 сут	
№ 1	2416,0	2337,72	3,24
№ 2	2498,54	2442,07	2,26
№ 3	2439,47	2371,65	2,78

В табл. 3 приведена средняя плотность бетона в смешанном состоянии и затвердевшего через 28 сут. Наблюдаются увеличение средней плотности за счет снижения расхода воды в бетонной смеси и количества песка из-за добавления суперпластификатора СДж-1. Введение в бетонную



смесь 0,6 % суперпластификатора СДж-1 привело к уменьшению пористости бетона, который изготовлен по ГОСТ 24211-91 и ГОСТ 30459-2008, в результате чего его физические свойства улучшились. Это позволяет использовать высокопрочный бетон с длительным сроком службы при укладке грунта.

Снижение плотности смеси № 1 от 2416 до 2337,72 кг/м³ указывает на некоторую степень уплотнения бетона в процессе твердения. Однако пористость остается достаточно высокой, что может влиять на долговечность и прочностные характеристики бетона. Смесь № 2 имеет наибольшую среднюю плотность как в смешанном состоянии, так и в затвердевшем. Ее низкая пористость (2,26 %) свидетельствует о лучшей структуре бетона и, вероятно, более высоких прочностных характеристиках. Смесь № 3 занимает промежуточное положение по плотности и пористости. Умеренная пористость и высокая плотность в затвердевшем состоянии указывают на хорошее качество смеси № 3, но ее характеристики несколько хуже, чем у смеси № 2.

Таким образом, сравнение трех смесей показывает, что смесь № 2 обладает наилучшими физическими свойствами:

1. наибольшей средней плотностью как в смешанном состоянии, так и в затвердевшем;
2. наименьшей пористостью, что свидетельствует о минимальных потерях воды и высокой степени уплотнения бетона.

Смесь № 1 демонстрирует наименьшую плотность в затвердевшем состоянии и наибольшую пористость, что может негативно сказываться на долговечности и прочности бетона. Смесь № 3 имеет промежуточные значения плотности и пористости, что делает ее хорошим компромиссным вариантом.

На рис. 7 показана зависимость прочности высокопрочного бетона от его пористости.

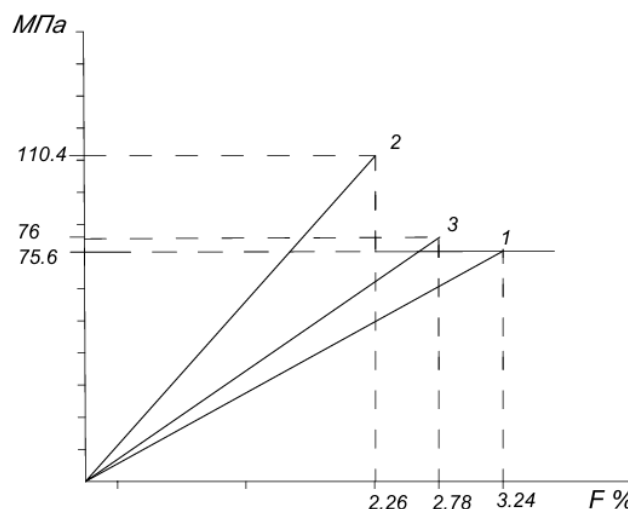


Рис. 7. Зависимость предела прочности при сжатии R_c высокопрочного бетона от его пористости: 1-3 - смесь № 1-3 соответственно

Из рис. 7 видно, что при низкой пористости (< 2 %) предел прочности при сжатии R_c бетона находится на высоком уровне, достигая значений порядка 100-120 МПа. С увеличением пористости прочность бетона снижается. При пористости 3-4 % R_c бетона уменьшается до 80-90 МПа. Дальнейшее увеличение пористости до 5-6 % приводит к значительному снижению R_c бетона вплоть до значений 60-70 МПа. Для достижения высоких прочностных характеристик бетона минимизировали его пористость, добавляя суперпластификатор СДж-1, что позволило уменьшить водоцементное отношение и повысить уплотнение бетонной смеси.

Определение состава железобетонных композиций с суперпластификатором в лаборатории ТАСУ «Строительные материалы» и Центральной научно-исследовательской лаборатории «Строительные материалы» показало, что добавка СДж-1 обладает наилучшими



эксплуатационными показателями, которые определены по ГОСТ 10181-2014 и ГОСТ 7473-2010. Порядок определения реологических и механических свойств тяжелого бетона показан на рис. 8.



Кроме того, были определены механические свойства бетонных смесей в разные периоды времени (табл. 4). Видно, что смесь № 1 показала прирост прочности за период

Таблица 4. Прочность бетонных смесей в разные периоды времени

Бетонная смесь	Предел прочности при сжатии, МПа, через			
	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
№ 1	28,84	38,62	59,2	75,6
№ 2	66,57	77,29	93,53	110,5
№ 3	48,93	53,84	65,4	76,0

от 3 до 28 сут 46,76 МПа. Наибольший прирост наблюдается в первые две недели твердения, затем скорость увеличения прочности снижается. Смесь № 2 показала высокую раннюю прочность, что связано с приростом прочности с использованием добавок суперпластификатора СДж-1, ускоряющих твердение. Прирост прочности за период от 3 до 28 сут составляет 43,93 МПа, что немного меньше, чем у смеси № 1, однако начальные значения прочности значительно выше. В смеси № 3 прирост прочности за период от 3 до 28 сут составляет 27,07 МПа; наблюдаются умеренные значения прочности и сравнительно медленный ее прирост.

Сравнение трех смесей показывает, что смесь № 2 обладает наибольшей прочностью на всех этапах созревания. Смеси № 1 и 3 имеют схожие конечные значения прочности на 28-е сут, однако смесь № 1 показывает более значительный прирост прочности на ранних этапах (до 14 сут). Следует отметить, что выбор смеси зависит от требований к прочности бетона на ранних стадиях твердения. Для конструкций, требующих высокой ранней прочности, предпочтительно применение смеси № 2. В тех случаях, когда высокая прочность требуется к 28-м сут, можно использовать как смесь № 1, так и № 3.

На рис. 9 показана зависимость прочности бетонных смесей от их плотности. Видно, что

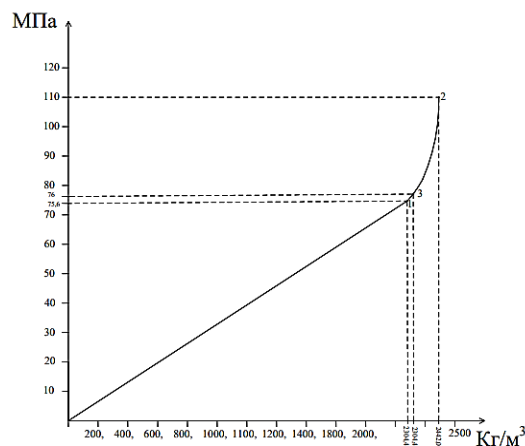


Рис. 9. Влияние прочности бетонных смесей от их плотности

введение суперпластификатора СДж-1 в состав бетонной смеси позволяет снизить ее водопотребление на 35,7 мас. %. При этом предел прочности при сжатии бетона, в который была введена добавка СДж-1, через 3 и 7 сут в 2-2,3 раза выше, чем у контрольных образцов.

Заключение

В ходе проведенных исследований было установлено:

- использование суперпластификатора СДж-1 значительно улучшает физико-механические свойства бетона. Оптимальное содержание суперпластификатора СДж-1 составляет 0,6 % массы цемента. Введение суперпластификатора СДж-1 в состав бетонной смеси позволяет значительно уменьшить водопотребление смеси и улучшить ее механические свойства бетона. Суперпластификатор СДж-1 способствует повышению прочности бетона на 45-50 % по сравнению с контрольными образцами, что делает его перспективным для применения в высокопрочных бетонных конструкциях;
- суперпластификатор СДж-1 улучшает пластичность, ускоряет начальную интенсивность твердения и увеличивает плотность бетона, что обеспечивает более высокий эффект по сравнению с использованием обычных пластификаторов;
- экономическая эффективность применения суперпластификатора СДж-1 подтверждена также тем, что модифицированный цементный состав оказался более выгодным по стоимости по сравнению с аналогичными смесями без химической добавки.

Таким образом, использование суперпластификатора СДж-1 в количестве 0,6 % массы портландцемента не только значительно улучшает физико-механические свойства бетона, обеспечивая его высокую прочность, но и повышает его экономическую эффективность. Такой бетон может быть рекомендован для применения в строительной отрасли.

Библиографический список

1. Wang, C., X. Chen, R. Do chlorides qualify as accelerators for the concrete of deepwater oil wells at low temperature, Construction & Building Materials. - Feb. 2017. - Vol. 133. - P. 482-494.
2. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии, Высшая школа, 1978. - 319 с.
3. Захаров С.А. Оптимизация составов бетонов высокоэффективными поли-карбоксилатными пластификаторами Строительные материалы. - 2008. - № 3. - С. 42, 43.
4. Ахмедов, С. И. Повышение устойчивости подвижного песка с применением модифицированных соединителей на основе местного сырья, Новые огнеупоры. - 2024. - № 5. - С. 100-109.



5. **Spiratos N., Jolicoeur C.** Chemical admixtures for the 21 century : VI CANMET, ACI Int. Conf. on Superplastizers and other Chemical Admixtures in concrete, ACI, SP 195-1, 2000. - P. 173-177.
6. **Gay M.** Admixtures for high performance concreteproc. «Durability of High Performance Concrete», Freiburg, 2004. - P. 53-61.
7. **Kucharska.L.** Tradycyjne i współczesne domieszki do Betonu zmniejszające jękalność dyżarobowej Cementu, Wapno, Beton. - 2000. - № 2. - P. 46-61.
8. **Изотов, Б. С., Соколова Ю.А.** Химические добавки для модификации бетона, Казанский гос. архитектурно-строит. ун-т: Палеотип, 2006. - 244 с.

