

УДК 666.97

Сахибгареев Р.Р. – аспирант, инженер

E-mail: R_sah@mail.ru

Уфимский государственный нефтяной технический университет

СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ СО СТАБИЛЬНЫМ УРОВНЕМ СВОЙСТВ

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты анализа влияния различных факторов на свойства цементных систем на разных стадиях твердения. Показана возможность и технологическое решение получения бетонов и растворов с единым оптимальным водовяжущим отношением. Предлагаются решения для получения бетонов с гарантированным и стабильным уровнем свойств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, водовяжущее отношение, минеральная добавка, наполнитель.

Sakhibgareev R.R. – post-graduate student, engineer

Ufa State Petroleum Technical University

STRUCTURALLY-TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR GETTING THE MODIFIED CONCRETE WITH STABLE LEVEL OF PROPERTIES

ABSTRACT

The results of analysing the influence of various factors on cement systems properties including at defferent stages of concretion are proposed. Necessity and technological reception of receipt of concretes and mortar with single optimum correlation water/binder is shown. The decisions for getting concrete with guaranteed and stable level of properties are offered.

KEYWORDS: concrete, water/binder, mineral additive, filler.

В последние годы широкое распространение получили химические добавки к бетонам, в том числе пластифицирующего и комплексного действия, начиная с недорогих, являющихся побочными продуктами производства – лигносульфонаты технические (ЛСТ), и заканчивая наиболее эффективными и современными на основе эфиров поликарбоксилатов.

Практика монолитного строительства показывает, что основную часть производимых и используемых бетонов, до 90 % от всего объема, составляют бетоны с прочностью на сжатие не более 40 МПа.

Открытым остается вопрос о возможности использования химических добавок в низкомарочных бетонах в связи с недостатком в их составах объема дисперсной части.

Закон водоцементного отношения был открыт более 100 лет назад. Но и сейчас, изучая различные данные, можно заметить, что бетоны с близким В/Ц имеют различные свойства. Бетон известен более 2 тысячелетий. За данный срок изобретено и исследовано множество видов бетона. Выявлено, что бетоны одинаковых свойств можно получить различными путями. Вопрос выбора пути получения оптимального вида бетона остается по-прежнему актуальным. В научных работах последних 10 лет широкое распространение получили исследования о влиянии минеральных добавок, в том числе активных, на прочностные и эксплуатационные свойства бетонной смеси и бетона.

Современные требования к бетону различны. Иногда требуются бетоны невысокой прочности, но с повышенными требованиями к специальным свойствам. Например, БСГ В15 П4 F75 W6 ГОСТ 7473-94. Для выполнения требований по водонепроницаемости необходимо изготовить бетон более высокого класса по прочности на сжатие, чем бетон В15, изготовленный по обычной технологии, так как последний будет иметь марку по водонепроницаемости меньше, чем W6.

Получение и применение модифицированных бетонов сопряжено с проблемой достижения и сохранения требуемого уровня прочностных и эксплуатационных показателей цементных бетонов.

Анализом и обобщением известных [1] и полученных собственных экспериментальных данных установлено, что основными причинами разупрочнения цементных систем в неагрессивных средах на поздних стадиях структурообразования являются: достижение степени гидратации более 0,85; недостаточное количество клинкерной фазы β -C₂S, ответственной за прочность и долговечность

цементного камня в условиях длительного твердения; структура порового пространства, не обеспечивающего непрерывность процессов структурообразования на ранних и поздних стадиях твердения; внутроструктурные напряжения в результате дефицита капиллярного пространства. Не все исследователи разделяют точку зрения о возможности негативного воздействия на бетон внутренних напряжений, возникающих в результате роста кристаллов при продолжающейся гидратации цемента в системах с низким В/Ц при исчерпании капиллярного пространства. Многочисленные экспериментальные исследования подтверждают, что существуют цементные системы, эксплуатирующиеся как в агрессивной, так и неагрессивной среде, подверженные разупрочнению или разрушению в результате действия внутренних напряжений. Это системы, подверженные сульфатной коррозии, цементы, содержащие большое количество свободных оксидов магния и кальция, бетоны на реакционноспособном заполнителе, гипсоцементные системы и др. Следует отметить, что при введении аморфного микрокремнезема во все вышеназванные системы разупрочнение не происходит или действие разупрочняющего фактора снижается. Явление положительного влияния аморфного микрокремнезема объясняется по-разному. Особняком стоят расширяющиеся цементы, снижение В/Ц в которых приводит к увеличению свободного расширения (табл. 1), что косвенно подтверждает повышение вероятности возникновения распора в системах с низким В/Ц. Для нейтрализации возможных негативных проявлений внутреннего распора в высоководородуцированных системах эффективно использовать добавку аморфного микрокремнезема, реакция взаимодействия которого с выделяющейся при гидратации гидроокисью кальция сопровождается минимальным изменением объема [2]. Бетоны с аморфным микрокремнеземом широко применяются в практике современного массового строительства [3]. Одним из известных эффективных путей оптимизации свойств цементных композитов, достижения их структурной однородности является введение минеральных добавок различного ранга для достижения также микронаполняющего эффекта, в т.ч. на нанометрическом уровне [1, 4, 5, 6].

Для цементных систем после достижения степени гидратации более 0,85 одним из факторов, способствующих разупрочнению, является высокое В/Ц, стимулирующее скорость гидратации и ускоренный расход клинкерного фонда. Кинетика этих процессов значительно зависит от гранулометрического состава исходного вяжущего.

Практически все свойства цементных композитов зависят от водовязущего отношения [7]. При этом незначительные изменения водовязущего отношения приводят к существенному изменению свойств (рис. 1, 2). Обобщение и анализ данных исследований приведены в табл. 1. Кроме того, некоторые свойства цементных композитов, бетонных смесей и бетонов характеризуются минимальными или максимальными значениями экстремума при определенной величине водовязущего отношения, что свидетельствует о наличии оптимальных или экстремальных областей В/В для получения или исключения пикового значения свойств или параметров цементной системы. Обобщение и анализ показателей, зависящих от В/Ц (В/В), приведены в табл. 2 и на рис. 3, 4.

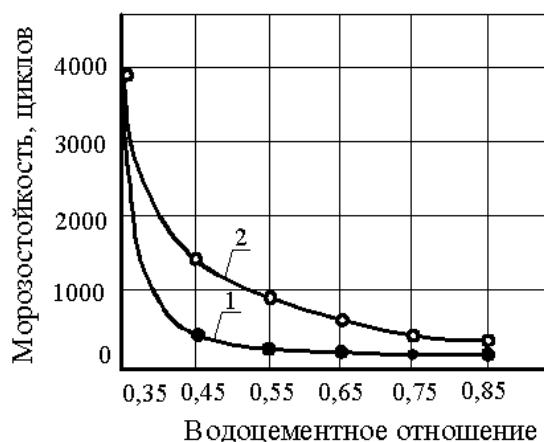


Рис. 1. Зависимость морозостойкости обычного бетона (1) и бетона с вовлеченным воздухом (2) от В/Ц [8]

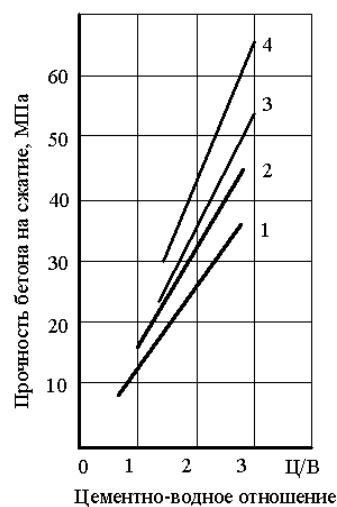


Рис. 2. Зависимость прочности бетона в возрасте 28 сут. от отношения Ц/В и марки цемента, 1-4 – марка цемента соответственно 300, 400, 500, 600 [9]

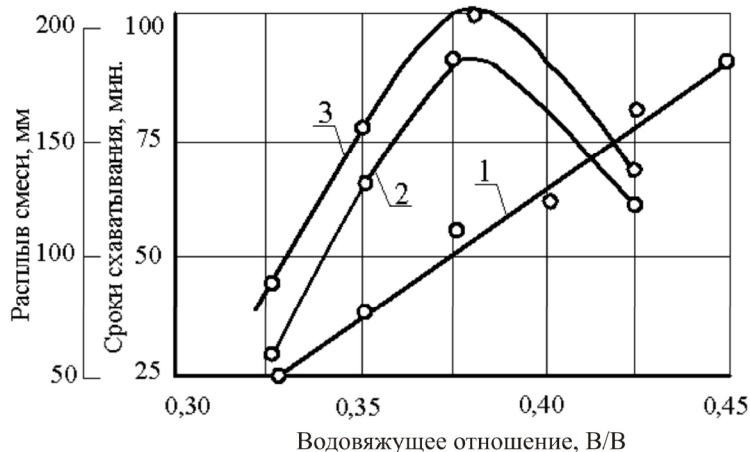


Рис. 3. Влияние добавки ЛСТ (0,5 % по массе) на распыл смеси (1), начало (2) и конец (3) схватывания в зависимости от водовязущего отношения [10]

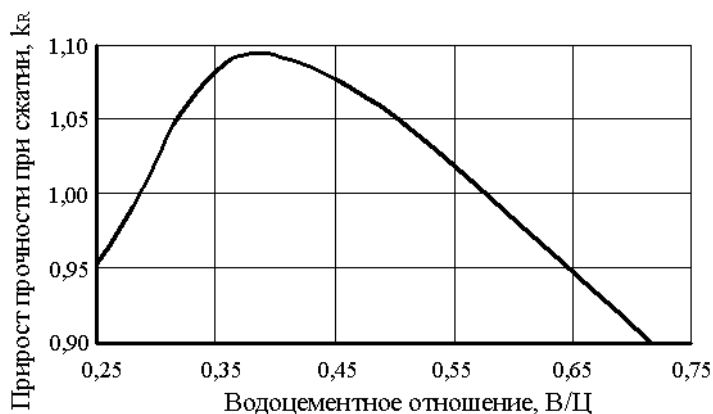


Рис. 4. Расчетная зависимость прироста прочности при сжатии относительно прочности цементного камня с равномерно распределенным водосодержанием (ПЦ 400 Д20 Коркинского завода) [11]

Таблица 1

Влияние В/Ц цементных систем на различные показатели при отсутствии экстремума

Наименование параметра цементных систем, композитов и бетонов	Диапазон В/Ц (диапазон изменения параметра, свойства)	Средняя величина изменения параметра при изменении В/Ц (В/В) на 0,01	Источник, авторы
Прочность особо быстротвердеющих цементов	0,225-0,4 (20-5 кг/см ²)	0,86 кг/см ²	Иванов В.П.
Изменения теплоты гидратации цемента после 24 часов твердения	0,37-0,67 ((143,1-113,1)·10 ³ Дж/кг)	10 ³ Дж/кг	Батраков В.Г.
Свободное расширение цементно-песчаных растворов (1:1) на расширяющемся М-цементе	0,25-0,30 (4,2 %-3,2 %)	0,2 %	Михайлов В.В., Литвер С.Л.
Водонепроницаемость бетона (по математической модели для ПЦ 400 Д20 Коркинского завода)	0,3-0,61 (17-2 атм.)	0,48 атм	Королев А.С.
Прочность бетона в возрасте 28 сут. (марка цемента 400)	0,4-1,0 (40-15 МПа)	0,42 МПа	Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86)
Морозостойкость бетона без химических добавок	0,3-0,6 (40-43 циклов)	12,9 циклов	Трофимов Б.Я.

Таблица 2

**Влияние В/Ц цементных систем на различные показатели при наличии экстремума
(зависимость имеет две ветви)**

Наименование параметра цементных систем, композитов и бетонов	Диапазон В/Ц или В/В (диапазон изменения параметра, свойства)	Величина В/Ц (В/В) в точке экстремума	Средняя величина изменения параметра при изменении В/Ц (В/В) на 0,01	Источник, авторы
Сроки схватывания гипсоцементной системы с добавкой ЛСТ (0,5 %)	В/В=0,325-0,38 (42-103 мин.)	(0,38)	11,09 мин.	Алкснис Ф.Ф.
Зависимости прочности при сжатии цементного камня (комплекс СЭП+МК) в возрасте 1 сутки от водоцементного отношения	0,16-0,215 (35-53 МПа)	0,215	3,27 МПа	Гамалий Е.А., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я.
Сжимаемость системы цемент+вода в зависимости от В/Ц _{нач}	0,26-0,5 (0,025-0,183)	0,26	0,0066	Ахвердов И.Н.
Минимальное количество воды для внутреннего выдерживания, необходимое для получения максимальной степени гидратации цемента, недопущения самоосушки во время гидратации	0,15-0,36 (0,025-0,062) 0,36-0,42 (0,062-0,000)	0,36	0,0018 0,0103	Ковлер К.Л., Йенсен О.М., Фаликман В.Р.
Зависимость теплоты гидратации цемента после 1 час твердения	0,5-0,67 ((21,9-17,9)х 10 ³ Дж/кг)	0,5	2,35 х10 ² Дж/кг	Батраков В.Г.
Расчетная зависимость прироста прочности при сжатии цементного камня с равномерно распределенным водосодержанием (для ПЦ 400 Д20 Коркинского завода)	0,25-0,37 (0,955-1,095)	0,37	0,011	Королев А.С.
Зависимость прочности бетона на ВНВ с 3 % НН от В/Ц в возрасте 28 сут. при минус 20 °С	0,30-0,32 (15,7-22,0 МПа)	0,32	3,15 МПа	Батраков В.Г.

Для получения бетона требуемой прочности на сжатие в широком диапазоне прочностей с необходимым значением требуемого параметра (свойства), зависящего от В/В, нами предложено технологическое решение на основе применения постоянного водовязущего отношения и сохранения сравнительно постоянного значения объема системы «цемент+наполнитель+вода» в бетоне. Другим структурно-технологическим решением для получения бетонов со стабильным и высоким уровнем свойств является оптимальное варьирование соотношения объемов цемента и наполнителя с сохранением объема «цемент+наполнитель+вода» в бетонных смесях.

Проведенные исследования показали, что применяемые в практике составы бетона с заполнителем в виде песчано-гравийной смеси имеют соотношение объема цемента и воды к объему межзерновых пустот заполнителя ($V_{ц+в}/V_{пустот.зап.}$), близкое к 1. При этом цементная система, одинаковая по качественному составу, при значении этого показателя меньше 1 имеет меньшую прочность (табл. 3).

Таблица 3

Испытания растворов с различным отношением объема цементного камня к объему пустот песка, насыпная плотность песка 1472 кг/м³, $M_k=2,25$, дозировка суперпластификатора СП-3 0,5 % от массы цемента, ЦЕМ I 42,5 Н (ОАО «Катавцемент»)

№ состава	В/Ц	Ц, кг/м ³	В, л/м ³	П, кг/м ³	$V_{ц+в}/V_{пустот.зап.}$	Плотность смеси, кг/м ³	Прочность на сжатие в возрасте 7 суток, МПа
1	0,55	471	259	1470	0,948	2200	13,8
2	0,55	509	280	1470	1,026	2260	15,7
3	0,55	560	308	1363	1,215	2255	16,3
4	0,55	614	338	1258	1,447	2230	16,3
5	0,35	574	201	1425	0,919	2100	11,4
6	0,35	645	226	1359	1,084	2240	22,8
7	0,35	747	262	1307	1,305	2340	29,4
8	0,35	814	284	1187	1,563	2305	27,9
9	0,35	881	308	1070	1,878	2260	29,8

Для получения бетонов с наиболее высоким и гарантированным уровнем свойств при высокой изменчивости пустотности заполнителей отношение $V_{ц+в}/V_{пустот. зап.}$ необходимо увеличивать.

Анализ известных и полученных нами результатов показал, что для получения цементных растворов и бетонов со стабильными свойствами при наименьшем разбросе их показателей необходимо использовать заполнители с постоянной гранулометрией, с наименьшей пустотностью, соответственно, с наибольшей насыпной плотностью, при оптимальном содержании дисперсных частиц в бетоне. При этом необходимо выбрать водовязущее отношение в зависимости от требуемого значения необходимого свойства, раствора или бетона, заменяя часть цемента в составе цементной системы минеральной дисперсной добавкой (наполнителем), инертной или активной, регулируя подвижность дозировкой пластифицирующей добавки.

Предложенное решение позволяет упростить подбор составов, так как для каждого состава не требуется использовать разную комбинацию заполнителей. Высокие требования предъявляются к наполнителю, который должен при замещении части цемента минимально изменять подвижность смеси и прочность цементного композита. Нами был проведен сравнительный анализ различных наполнителей (табл. 4), являющихся побочными продуктами производства, а также материалами, выпускаемыми для производства строительных смесей и асфальтобетона. Проводился эксперимент по определению прочностных и реологических свойств цементно-песчаного раствора при замене половины объема цемента наполнителем (табл. 5).

Таблица 4

Характеристика применяемых наполнителей

Наименование материала	Характеристика материала
Мраморный порошок 1	Фракционный состав: 0,315мм-0,100 мм – 39,3 %, проход через сито 0,100 мм – 60,5 %, состав: $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ – 98 %
Ожелезненный доломит	Химический состав, по массе: $\text{CaO} > 58$ %, $\text{MgO} > 28$ %, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 6$ %, $\text{SiO}_2 < 6$ %, $\text{S} < 0,02$ %
Известь 1	Гашеная известь, высушенная и прошедшая через сито 0,63 мм
Известь 2	Гашеная известь в виде водной суспензии с пластификатором, прошедшая через сито 0,63 мм
Наполнитель 1	Остаток на сите 0,08 мм – 2 %. Химический состав, по массе, %: п.п.п – 23,53ч26,32; SiO_2 – 12,5ч14,2; Al_2O_3 – 3,25ч3,65; Fe_2O_3 – 2,95ч3,38; CaO – 40,5ч45,2; CaO своб. – 2,32ч10,6; MgO – 0,77ч1,43; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 1,0ч4,0; SO_3 – 2,81ч3,80; Cl – не более 0,1. Нерастворимый остаток – 3,5ч5,9

Таблица 5

Сравнительный анализ эффективности введения различных наполнителей при замене в растворе половины объема цемента ЦЕМ I 42,5 Н (ОАО «Катавцемент») наполнителем с модификатором ПФМ-НЛК в дозировке 0,8 % от массы вяжущего

Наименование состава, наполнителя	В/Ц	В/В	Подвижность (глубина погружения эталонного конуса), см		Прочность на сжатие в возрасте 7 суток, МПа
			Через 15 мин*.	Через 60 мин*.	
Без наполнителя	0,45	0,45	7,0	6,5	28,0
Мраморный порошок 1	0,88	0,45	5,3	4,2	9,9
Ожелезненный доломит	0,88	0,45	3,0	-	4,8
Известь 1	1,02	0,55	-	-	3,5
Известь 2	0,90	0,57	8,0	6,0	4,4
Наполнитель 1	0,88	0,45	5,0	5,0	14,9

* Определялась через 15 и 60 минут после добавления воды.

Наиболее эффективно введение наполнителя 1. Эффективным наполнителем является фракция заполнителя меньше 0,16 мм, в частности песка. Был проведен эксперимент по замене части различных видов цементов песком фракции меньше 0,16 мм (содержание пылевато-глинистых частиц в песке, из которого выделена фракция заполнителя меньше 0,16 мм, составляет 1,4 %) в сочетании с суперпластификатором (табл. 6).

В результате замены части цемента песком фракции меньше 0,16 мм наименьшее относительное снижение прочности происходит при использовании цемента ПЦ 500 ДО – потеря до 26 % прочности, наибольшее снижение до 44 % при замене 30 % цемента ЦЕМ II/A-III 32,5 Б.

Таблица 6

Определение прочности раствора, содержащего песок фракции 0,315-0,63 мм – 1150кг/м³ с различными цементами: цемент 1 – ПЦ500 Д0 (ЗАО «Строительные материалы», г. Стерлитамак) цемент 2 – ЦЕМ П/А-Ш 32,5 Б (ОАО «Катавцемент») цемент 3 – ЦЕМ I 42,5 Н (ОАО «Катавцемент») при варьировании содержания песка фракции меньше 0,16 мм

Наименование состава*	Вид цемента	В/Ц	В/(Ц+ +П _{0,16})	Ц, кг	П _{0,16} , кг	Вода, л	Прочность на сжатие в возрасте 14 суток, МПа	Прочность в возрасте 14 суток, % от состава без П _{0,16}
100 %Ц	Цемент 1	0,45	0,45	700	0	315	63,7	100
90 %Ц+10 %П _{0,16}		0,50	0,45	630	70	315	59,2	93
80 %Ц+20 %П _{0,16}		0,56	0,45	560	140	315	54,9	86
70 %Ц+30 %П _{0,16}		0,64	0,45	490	210	315	47,1	74
100 %Ц	Цемент 2	0,45	0,45	700	0	315	33,0	100
90 %Ц+10 %П _{0,16}		0,50	0,45	630	70	315	29,8	90
80 %Ц+20 %П _{0,16}		0,56	0,45	560	140	315	24,7	75
70 %Ц+30 %П _{0,16}		0,64	0,45	490	210	315	18,4	56
100 % Ц	Цемент 3	0,43	0,43	700	0	300	43,8	100
80 %Ц+20 %П _{0,16}		0,54	0,43	560	140	300	34,7	79

* П_{0,16} – песок фракции меньше 0,16 мм, Ц – цемент.

В настоящее время в качестве заполнителей для бетона широко используется песчано-гравийная смесь (ПГС). Проведенные исследования по влиянию содержания гравия и гранулометрического состава на насыпную плотность ПГС и выполненные расчеты показали, что снижение насыпной плотности заполнителя на 1 % приводит к необходимости увеличения содержания комплекса «цемент+наполнитель+вода» до 4 %. При вариации гранулометрического состава заполнителя соотношение $V_{ц+в}/V_{пустот.зап.}$ может оказаться меньше 1, что, как было показано ранее, приводит к сбросу прочности образцов цементно-песчаного раствора. Решающее значение имеет содержание фракции заполнителя меньше 0,16 мм (табл. 6), которая повышает водопотребность смеси и содержание пылевато-глинистых частиц. Цементная система состава Ц:П_{0,16}≈1:2 с суперпластификатором (В/Ц=1), содержащая пылевато-глинистые частицы (содержание пылевато-глинистых частиц в песке, из которого выделена фракция заполнителя меньше 0,16 мм, составляет 1,4 %), имеет прочность на 43 % ниже, по сравнению с такой же цементной системой без пылевато-глинистых частиц.

Работы по исследованию влияния водовяжущего отношения и вида наполнителя на различные эксплуатационные свойства, в том числе прочность бетонов, необходимо продолжать с целью возможности широкой реализации технологического решения применения единого водовяжущего отношения в практике производства бетонов.

Исследования многих авторов и собственные исследования [12] показали высокую эффективность применения высокодисперсных цемента в сочетании с пластифицирующими добавками, как по относительному повышению прочности, так и по сохраняемости подвижности, в сравнении с грубодисперсными цементами, содержащими доменный гранулированный шлак при использовании пластифицирующей добавки. Эффект повышения прочности обусловлен, кроме всего прочего, диспергирующим действием пластификатора. Известно, что для бетонных смесей существует предельный расход цемента на конкретных заполнителях для каждой требуемой подвижности смеси. При снижении количества цемента ниже предельного смесь расслаивается, и получить материал со стабильным и высоким уровнем свойств крайне сложно. Это обстоятельство исключает возможность применения высокомарочных цемента в сочетании с суперпластификатором при изготовлении бетонов невысоких классов по прочности. Применение наполнителей позволяет использовать вышеназванные материалы для получения цементных композитов и бетонов с уровнем прочности в широком диапазоне.

Таким образом, структурно-технологическое решение применения единого водовяжущего отношения или одинакового объема дисперсной части для бетонов в широком диапазоне прочностей позволяет:

- получать бетоны и растворы в широком интервале прочностей со стабильным и необходимым уровнем технологических и эксплуатационных свойств (сохраняемость подвижности, водонепроницаемость, морозостойкость, скорость набора прочности и др.);

- за счет использования комбинации заполнителей с минимальной пустотностью и оптимальным содержанием дисперсных частиц в составе бетонов и растворов упростить подбор составов, исключив необходимость определения соотношения заполнителей для каждого класса бетона и марки раствора по прочности;

- использовать высокую эффективность бездобавочного высокомарочного цемента в сочетании с суперпластификатором (повышенную прочность, связанную с эффектом диспергации частиц, сохранение подвижности при применении замедлителей сроков схватывания, предотвращение возможности снижения прочности за счет увеличения содержания фракции заполнителя меньше 0,16 мм и добавлении наполнителя) в составах бетонов и растворов рядовой прочности.

Для получения модифицированных бетонов с гарантированным уровнем свойств необходимо исключить основные причины, способствующие проявлению нестабильности их характеристик, изменчивости гранулометрического состава заполнителей и связанной с этим вариацией пустотности заполнителя, изменчивости количества фракций меньше 0,16 мм в заполнителе и вариации содержания пылевато-глинистых частиц. Для предотвращения негативных процессов деструкции, обеспечения сохранения стабильных свойств в течение требуемого жизненного цикла эксплуатации бетонных изделий и конструкций эффективно применение минеральных добавок, в частности активных – в виде аморфного оксида кремния, а также использование цемента с необходимым содержанием и соотношением фаз β - C_2S , C_3S в сочетании с совместимой химической добавкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. – Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
2. Бабков В.В., Сахибгареев Р.Р., Сахибгареев Ром.Р., Чуйкин А.Е., Кабанец В.В. Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов // Строительные материалы, 2010, № 6. – С. 44-46.
3. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строительные материалы, 2008, № 3. – С. 9-13.
4. Зоткин А.Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне // Бетон и железобетон, 1994, № 3. – С. 7-9.
5. Калашников В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов // Технологии бетонов, 2007, № 5. – С. 8-10; № 6. – С. 8-11; 2008, № 1. – С. 22-26.
6. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р. О вкладе рецептурно-технологических факторов в водопотребность минеральных компонентов ЦНВ // Сб. научных трудов «Материалы Всероссийской конференции «Строительное материаловедение сегодня: актуальные проблемы и перспективы развития». – Челябинск: ЮУрГУ, 2009. – С. 52-54.
7. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. Получение бетона заданных свойств. – М.: Изд-во Стройиздат, 1978. – 51 с.
8. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 528 с.
9. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86). – М.: Госстрой СССР, ЦИТП, 1990.
10. Алкснис Ф.Ф. Твердение и деструкция гипсоцементных композиционных материалов. – Л.: Стройиздат, Ленингр отд-ние, 1988. – 103 с.
11. Королев А.С., Волошин Е.А., Олюнин П.С. Гармоническая концепция теории направленного формирования структуры цементных композитов: монография. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 159 с.
12. Сахибгареев Ром.Р., Салов А.С., Сахибгареев Р.Р., Бабков В.В. Сравнение различных цементов по кинетике набора прочности // Сб. научных трудов «Материалы 60-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых». – Уфа: УГНТУ, 2009. – С. 114-115.