

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
университет»

На правах рукописи

Назаров Юнус Иброхимович

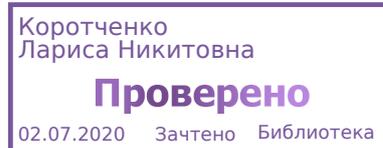
Исследование быстросхватывающихся бетонов высоких марок

Кафедра «Строительство и архитектура»
Направление 08.04.01 – «Строительство»
Профиль – «Инновационные технологии в строительстве»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени магистра наук

2020



Работа выполнена на кафедре «Строительство и архитектура»
Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

Научный руководитель: Доктор химических наук, доцент

О.Г. Шакирова

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Рецензент: заместитель руководителя департамента экономического
развития администрации города, кандидат экономических наук

Гутник Е. А.

Защита состоится «__» июня 2020 г. в часов на заседании
государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-
Амуре государственном университете по адресу: 681013, г.
Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ФГБОУ ВО «КнАГУ»

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Строительство и
архитектура» КнАГУ.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования:

Повышенные требования к качеству бетона, в том числе по показателям морозостойкости, стойкости к различным агрессивным средам, водонепроницаемости предъявляются к бетонам и железобетонным изделиям, предназначенным для промышленного, гражданского, транспортного и гидротехнического строительства. Кроме того, при постоянном росте цен на энергоносители и необходимости ведения бетонных работ в условиях низких температур, возникает реальная потребность в быстротвердеющих бетонах. Повышение эксплуатационных свойств бетонов достигается в основном за счет снижения водоцементного (В/Ц) отношения смесей на основе портландцемента путем суперпластифицирования, либо применением новых видов высокоэффективных вяжущих, бетоны на которых так же, как правило, имеют низкие водоцементные отношения (безгипсовые, шлакощелочные и другие). Нашедшие широкое применение в практике строительства ускорители твердения бетона являются эффективными в применении.

В современном монолитном строительстве высотных зданий, а также при строительстве зданий повышенной этажности, эффективнее применять бетоны быстросхватывающие, позволяющие сокращать продолжительность их выдерживания в опалубке, ускорять сроки строительства.

С целью быстрого схватывания цемента в бетоне ученые продолжают развивать различные методы. Среди них – разработка и применение комплексных добавок, специальных видов цемента, методов активации вяжущего.

Известные на данный момент способы получения цементных быстросхватывающих бетонов имеют ряд недостатков, таких как высокая стоимость производства (применение комплексных добавок, включающих химические добавки, дорогостоящие углеродные нанотрубки), сложность процесса производства бетона с высокими энергозатратами (двух- или даже

трехстадийное производство с предварительной активацией компонентов бетонной смеси).

Среди известных способов активации цемента наиболее эффективным и доступным является механический способ, который имеет основной недостаток – высокие энергозатраты на измельчение. Добиться снижения уровня энергозатрат на измельчение вяжущего возможно несколькими способами, а также их совместным воздействием: активацией в водной среде, введением поверхностно-активных веществ, заменой традиционных измельчительных аппаратов на более эффективные.

Вследствие указанных причин является актуальной разработка принципов получения быстротвердеющих суперпластифицированных бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Цель диссертационной работы - разработка принципов получения быстросхватывающих высокопрочных портландцементных бетонов и исследование их свойств.

Задачи исследования:

1. Анализ литературы по современным технологиям производства бетона и способам получения быстросхватывающих высокопрочных бетонов;
2. Разработать принцип получения быстросхватывающего высокопрочного суперпластифицированного бетона с высокими эксплуатационными характеристиками;
2. Определение эффективности добавок - ускорителей твердения, суперпластификатора, пуццолановой добавки в рамках предложенного принципа.
3. Проведение сравнительных исследований свойств бетонных смесей и свойств бетонов исходя из предложенных представлений.
4. Изучение прочностных параметров разработанного быстросхватывающего высокопрочного бетона.

Научная новизна:

1. Предложен принцип получения быстросхватывающих высокопрочных бетонов, основанный на обеспечении изоструктурности продуктов гидратации основных фаз твердеющего портландцемента, что особенно важно в плотном камне с низким В/Ц.

2. Установлено, что наибольшая ранняя стабилизация АРт-фаз в портландцементом камне обеспечивается совместным использованием комплекса добавок, включающего наряду с суперпластификатором высокоактивные пуццоланы, щелочные ускорители, способные образовывать устойчивые комплексы со щелочными или щелочноземельными металлическими ионами.

Практическая значимость работы:

1. Применение разработанной комплексной модифицирующей добавки, включающая наряду с суперпластификатором в качестве ускорителя – хлорида кальция, в качестве пуццолановых материалов — микрокремнезем, обеспечивает получение быстротвердеющих бетонов с высокой прочностью в раннем и зрелом возрасте от 80 % проектной прочности через 1 сутки и до 150-200 % от проектной прочности через 28 суток твердения в нормальных условиях.

2. Предложенный комплекс добавок обеспечивает сохранность удобоукладываемости бетонных смесей в технологически необходимые сроки реального производства: остаточная осадка конуса через 60 минут после приготовления бетонной смеси составляет 90-70 % от первоначальной.

3. Получаемые модифицированные бетоны обладают высокими показателями по морозостойкости (до 300 - 500 циклов), водонепроницаемости (11 - 16 атм.) и коррозионной стойкости (уровень сульфатостойких цементов), и не требуют дополнительных мероприятий по улучшению указанных характеристик.

Достоверность полученных результатов подтверждена большим количеством экспериментальных исследований, оценкой изменения

линейных размеров затвердевших образцов и стандартными испытаниями, соответствующими ГОСТам и другим нормативным документам.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения и 4 глав, содержит 121, рисунка 38, таблицы 25, приложений 15, список литературы из 72, названий 12ст.

В главе 1 проведен литературный обзор современного состояния вопроса диссертации. Глава 2 содержит сведения о материалах и методах исследования.

В главе 3 представлено исследование свойств высокопрочного быстротвердеющего бетона. Для увеличения прочности цементных композитов проводили исследования по подбору составов цементных композиций для высокопрочных бетонов с использованием минеральных добавок, суперпластификаторов и ускорителя твердения. В качестве минеральных тонкодисперсных добавок использовали две модификации микрокремнезёма. Микрокремнезём обеспечивает приготовление бетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками. В составы вводились микрокремнезём уплотнённый МКУ-85 и Аэросил А-300.

Необходимым вторым условием для производства высокопрочного бетона является применение суперпластификаторов. Введение их в цементную композицию позволяет уменьшить водопотребность смеси, приводящее к уменьшению пористости цементного камня, улучшить такие показатели, как прочность, долговечность, трещиностойкость, водонепроницаемость, морозостойкость и т.д.

Оптимизация составов цементных композиций по содержанию микрокремнезёма проводилось экспериментальным путем, принимая во внимание опыт предыдущих исследователей. Количество добавки суперпластификатора в составах бралось по рекомендациям производителя.

Вязущими компонентом выступал портландцемент марки ПЦ 500-Д0 ОАО «Мордовцемент».

Частицы микрокремнезема, встраиваясь между частицами цемента приводят к существенному повышению прочности при сжатии. Однако превышение оптимального содержания МКУ-85 приводит к снижению проектной прочности бетона.

Из анализа результатов, представленных в табл. 3.1 видно, что при постоянной водопотребности введение МКУ-85 приводит к снижению подвижности раствора; прочность при сжатии и изгибе раствора с микрокремнезема в разном возрасте выше, чем у раствора без него.

Таблица 3.1 – Влияние добавки микрокремнезема на прочность цементно-песчаного раствора

№ п/п	Наименование состава	Содержание МКУ-85, в % от массы цемента	Прочность при сжатии, МПа			Прочность при изгибе, МПа		
			3 сут	7 сут	28 сут	3 сут	7 сут	28 сут
1	Контрольный	0	33,5	38,1	57,4	5,42	6,86	8,12
2	С МКУ-85	10	36,7	42,5	65,8	5,74	7,07	9,9
3	С МКУ-85	20	38,1	44,3	69,4	5,95	7,21	10,3

По результатам экспериментов можно увидеть, что с повышением содержания МКУ-85 прочность при сжатии и изгибе растет. Вместе с этим можно отметить, что с увеличением содержания микрокремнезема повышение прочности имеет затухающий эффект. Так, при добавлении первых 10 % микрокремнезема прочность при сжатии увеличивается на третьи сутки на 10 %, при добавлении кремнезема до 20 % от массы цемента – увеличивается лишь на 14 %. Аналогичная картина наблюдается при сравнении прочности при сжатии и при изгибе в марочном возрасте.

Таким образом, для дальнейших экспериментов целесообразней применять добавку микрокремнезема в количестве 10 %.

Изучение влияние добавок на изменение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста производилось на двух портландцементях – ПЦ 500-Д0-Н и ПЦ 400-Д0. Результаты исследования приведены в таблице 3.2.

Из таблицы 3.2 видно, что оптимальная дозировка добавки ускорителя схватывания хлорида кальция – 1 %, а суперпластифицирующих добавок Melflux 2651F - 0,3 % и Sika Plast 2436 в количестве 0,3 % от массы цемента.

Сильнее замедляет схватывание цемента добавка Melflux 2651F , чем Sika Plast 2436.

Сравнивая по интенсивности снижения водопотребности цементного теста исследуемые суперпластифицирующие добавки выигрывает Melflux 2651F .

Таблица 3.2 – Влияние ускорителя схватывания и суперпластифицирующих добавок на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста

№ п/п	Наименование добавки	Дозировка добавки, в % по массе	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин	
				Начало схватывания	Конец схватывания
1	–	–	<u>26</u> * 31	<u>145</u> * 135	<u>255</u> * 260
2	Хлорид кальция	0,5	<u>28</u> 32,4	<u>120</u> 115	<u>212</u> 215
3	Хлорид кальция	1,0	<u>28,7</u> 33	<u>105</u> 100	<u>196</u> 200
4	Хлорид кальция	1,5	<u>29,2</u> 34,8	<u>96</u> 90	<u>180</u> 195
5	Melflux 2651F	0,2	<u>24</u> 27	<u>230</u> 220	<u>345</u> 355
6	Melflux 2651F	0,3	<u>22</u> 25	<u>255</u> 255	<u>360</u> 382
7	Melflux 2651F	0,5	<u>20</u> 23	<u>286</u> 280	<u>435</u> 440
8	Sika Plast 2436	0,3	<u>24</u> 27	<u>225</u> 215	<u>320</u> 342
9	Sika Plast 2436	0,5	<u>23</u> 26	<u>240</u> 232	<u>400</u> 409
10	Sika Plast 2436	0,7	<u>22</u> 25	<u>270</u> 265	<u>450</u> 486

Примечание:* Над чертой приведены показатели цементного теста на портландцементе ПЦ 400-Д0, под чертой – на портландцементе ПЦ 500-Д0-Н.

Далее проведено исследование влияния исследуемых добавок на прочность при сжатии цементного камня, который подвергался механическим испытаниям в возрасте 1 и 28 суток твердения.

На рисунке 3.1 приведены средние значения прочности данных образцов.

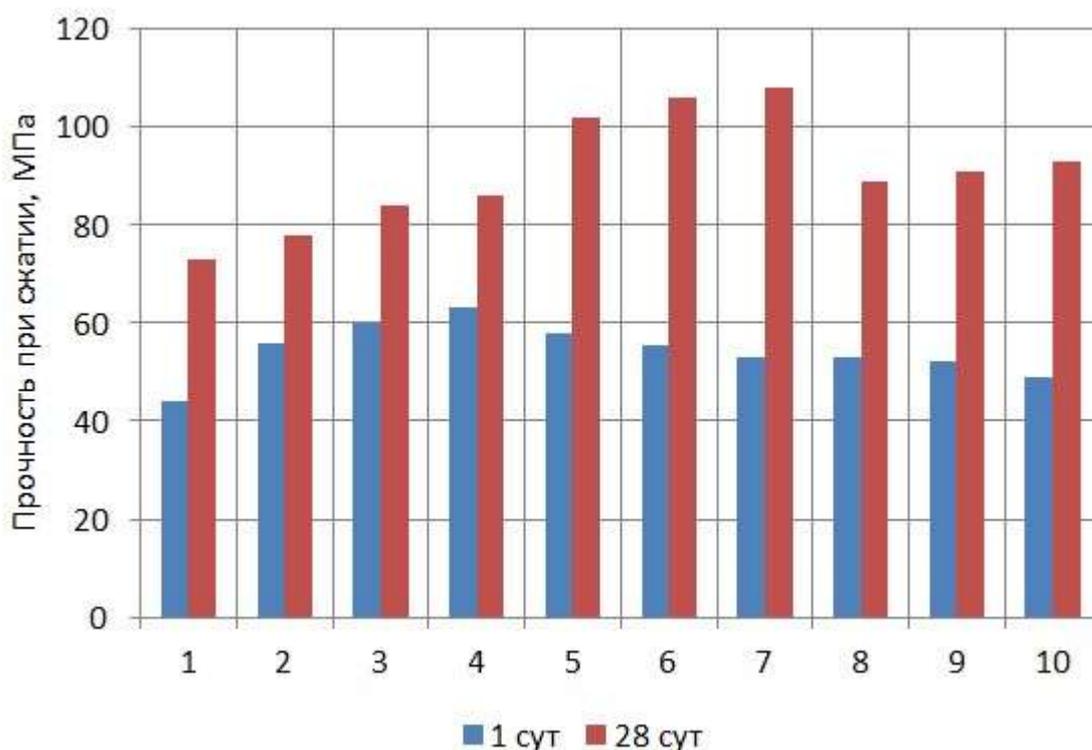


Рис. 3.1 – Прочность при сжатии цементного камня исследуемых составов (нумерация составов соответствует нумерации составов таблицы 3.2)

По данным рис. 3.1 видно, с точки зрения повышения прочности в первые сутки твердения предпочтение следует отнести добавке ускорителя твердения (составы №3 и №4), обладающие большей прочностью, составляющую 143 % по отношению к контрольному составу; с точки зрения максимальной марочной прочности следует выбрать составы №5-7, обладающие максимальной марочной прочностью среди рассматриваемых составов (152 % к контрольному составу).

Естественно, добавка на основе эфиров поликарбоксилата Melflux 2651F в первые часы замедляет сроки схватывания и набора прочности

цементного камня (табл. 3.2), но к более позднему сроку набирает большую прочность, которую необходимо набирать современным высокопрочным бетонам. Таким образом, дальнейшие исследования по разработке и изучению свойств бетонов можно рассмотреть с применением комплекса добавок, а именно суперпластификатора, минеральной добавки и солей хлорида кальция.

Исследование эффективности добавки следует начинать с определения основного положительного эффекта, для достижения которого добавка предназначена (по ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия»), а именно с пластифицирующего, оцениваемого по изменению подвижности (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Изменение подвижности (ОК, см) и прочности тяжелого бетона при введении суперпластификатора, ускорителя схватывания, микрокремнезема и их комплекса

№ п/п	Расход материала, на кг/м ³			Наимен. добавки	В/Ц	ОК, см	Прочность при сжатии, МПа (прирост прочности к конт., %)		
	Цемент	Песок	Щебень				1 сут	3 сут	28 сут
1	350	850	1100	-	0,44	7	13,1	19,5	44,7
2	350	850	1100	Melflux 2651F	0,38	21	17,6 (34)	31,7 (62)	55,2 (23)
3	350	850	1100	Хлорид кальция	0,44	8	16,2 (24)	24,7 (27)	45,1 (1)
4	315	850	1100	МКУ-85	0,47	15	15,7 (20)	28,8 (48)	52,6 (18)
5	315	850	1100	КД*	0,4	16	28,3 (116)	42,5 (118)	61,2 (37)

Примечание:* КД – комплекс добавок = Melflux 2651F + Хлорид кальция + МКУ-85

По анализу результатов экспериментов с добавками, как по отдельности, так и в комплексе можно видеть следующее:

- добавки повышают прочность тяжелого бетона, как в раннем возрасте так и марочном. Применение добавки суперпластификатора Melflux 2651F позволяет увеличить предел прочности при сжатии в 1-е сутки твердения на 34 %, на третьи сутки – 62 %, на 28-е сутки - 23 %; применение добавки ускорителя твердения - хлорид кальция обеспечивает увеличение предела прочности при сжатии в 1-е сутки твердения на 24 %, на третьи сутки – 27 %, на 28-е сутки - 1 %; применение добавки микрокремнезема МКУ-85 позволяет увеличить предел прочности при сжатии в 1-е сутки твердения на 20 %, на третьи сутки – 48 %, на 28-е сутки - 18 %;

- применение комплекса добавок Melflux 2651F + Хлорид кальция + МКУ-85 приводит к существенному увеличению пределов прочности тяжелого бетона: прочность в 1-е сутки возросла до 28,3 МПа, что выше на 116 % прочности контрольного состава; в 3-и сутки прочность возросла до 42,5 МПа, что выше на 118 % относительно прочности контрольного состава; на 28-е сутки нормально-влажностного твердения прочность исследуемого состава получилась 61,2 МПа, что выше прочности контрольного состава на 37 %.

Скорость образования структуры цементного камня и совокупность прочности цементных композиций определяется многими факторами, в том числе характеристиками вяжущих, условиями твердения, воздействием модифицирующих добавок. Основные характеристики цемента, влияющие на кинетику отверждения, включают фазовый и минералогический состав, состав материала, тонкость помола цемента и его поверхностную активность.

Перечисленные характеристики различными способами определяют степень гидратации фаз клинкера, фазовый состав и микроструктуру затвердевшего теста, которые в свою очередь определяют его физические свойства, в том числе прочность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен принцип получения быстротвердеющих бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками.
2. Разработан способ приготовления бетонной смеси ускоренного твердения с использованием 50 % цемента от его общей массы в виде цементной суспензии, полученной ее механохимической активацией с добавками суперпластификаторов Реламикс Т-2 и Remicrete SP60.
3. Установлена кинетика твердения тяжелого бетона, полученного механоактивацией цементной суспензии в шаровой мельнице с комплексной добавкой. Так, при механоактивации цементной суспензии с комплексной добавкой предел прочности при сжатии тяжелого бетона в первые сутки увеличивается на 63-84 %, на 3 суток – на 27-43 %, на 28-е сутки на – 14-21 % по сравнению с составом, полученным обычным введением комплексной добавки.
4. Механоактивация цементной суспензии в шаровой мельнице с комплексной добавкой позволяет получить улучшенные технологические характеристики бетонной смеси: повышается плотность до 3,5 %, уменьшается воздухоудерживание до 39 %, снижается количество выделившейся воды до 21 раза, характеризующее количество несвязанной воды, что способствует повышению предела прочности при сжатии тяжелого бетона в ранние сроки твердения.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ю.И. Назаров, О.Г. Шакирова Исследование рынка быстротвердеющих бетонов высоких марок // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 29-30 ноября 2018 г. / редкол.: О. Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019. – с. 271-275.
2. Назаров Ю.И., Шакирова О.Г. Исследование механических свойств модифицированных бетонов. // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев [и др.] – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ». 2020. С. 152-155.
3. А.Н.Намоконов. Ю.И. Назаров. Файз Д.И. Исследование параметров характеризующих поведение быстротвердеющих высокопрочных марок и полимерных бетон Программа для ЭВМ и БД 2020, 97 л