

На правах рукописи

МОХАМЕД АЛИ МОХАМЕД САЛМАН

УДК 691.327:666.942

**БЕТОН НА БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ  
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ  
ДЛЯ СУХИХ ЖАРКИХ УСЛОВИЙ**

Специальность 05.23.05 — Строительные материалы и изделия  
05.17.11 — Технология силикатных  
и тугоплавких неметаллических  
материалов

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



00820063 (J)

Робота виконана во Львові

Научний керівник:

- доктор технічних наук,  
професор Саницький М.А.

Офіційні опоненти:

чл.-кор. Міжнародної Інженерної  
Академії, доктор технічних наук,  
професор Крылов Б.А.кандидат технічних наук,  
доцент Солодкий С.И.

Ведущая организация

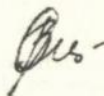
- Научно-исследовательский институт  
строительного производства,  
г.Киев

Защита состоится " 28 " апреля 1993 года в 15 часов на  
заседании специализированного совета К 068.36.03 при Львовском  
политехническом институте по адресу: 290646, г.Львов-ІЗ,  
ул. Ст.Бандеры, 12, учебный корпус 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Львовского  
политехнического института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " марта 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук, доцент

 Я.И. ВАХУЛА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. В последнее время в мире проводятся большие исследования по вопросам, связанным с технологией бетона и бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. Природные климатические условия в таких регионах характеризуются низкой относительной влажностью (20-15 %) при высоких температурах, достигающих в летнее время 40-45°C. Это приводит к увеличению водопотребности бетонной смеси, потере ее подвижности, интенсивному обезвоживанию свежесложенного бетона и значительной усадке твердеющего бетона, что весьма неблагоприятно при возведении зданий и сооружений из монолитного бетона. Поэтому следует обращать внимание на ряд специфических особенностей, связанных с производством работ, и обеспечением при этом ускорения твердения бетона с наименьшим расходом цемента, энерго- и трудозатрат.

Обобщение результатов исследований, выполненных многими учеными (С.С.Атаев, В.И.Бабушкин, Ю.М.Баженов, В.С.Балицкий, В.Г.Батраков, Г.И.Горчаков, П.В.Кривенко, Б.А.Крылов, Т.В.Кузнецова, В.М.Колбасов, А.В.Лагойда, А.И.Ли, С.А.Мионов, Е.Н.Малинский, С.М.Рояк, Р.В.Рунова, В.Н.Пунагин, А.Д.Осипов, С.В.Шестогоров, И.В.Шихненко, А.Г.Шлаем, Дж.Ван Дейк, М.Венюа, В.Лерч, Р.Лермит, Р.Шалон и др.), позволило заключить, что одним из наиболее радикальных путей повышения эффективности производства бетонных работ в сухих жарких условиях является использование быстротвердеющих и особобистротвердеющих цементов, а также химических добавок различного назначения. Однако такие факторы, как ограниченность сырьевой базы, специфические особенности технологии производства, повышенная стоимость, сдерживают массовый выпуск многих видов специальных быстротвердеющих цементов. В связи с этим, актуальными с теоретической и практической точек зрения являются исследования, направленные на создание быстро твердеющих вяжущих для сухих жарких условий на основе рядовых порландцементных клинкеров, активация твердения которых достигается с помощью комплексных химических добавок полифункционального действия.

Работа выполнялась в соответствии с научно-техническими программами Госстроя СССР на 1986-1990 г.г. 0.55.18 "Разработать и внедрить методы организации строительства, а также прогрессивные технологии, обеспечивающие переход на индустриально- системные методы возведения зданий и сооружений" и Мингуза Украины "Эконо-

материальных и энергетических ресурсов в строительстве".

Цель работы. Разработка бетонов для сухих жарких условий за счет использования быстротвердеющих портландцементных композиций, содержащих полифункциональные комплексные химические добавки, а также изучение процессов структурообразования в бетоне и его строительно-технических свойств.

Основные методы научных исследований. При выполнении работы использован комплекс методов физико-химического анализа: рентгенофазовый, дифференциально-термический и термогравиметрический, растровая электронная микроскопия, ртутная порометрия.

Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре ДРОН-2,0 при  $\text{CuK}_\alpha$ -излучении. Дифференциально-термические и термогравиметрические исследования проведены на дериватографе системы Ф.Паулик, И.Паулик, Л.Эрдеи со скоростью нагрева 10 град/мин, электронно-микроскопические исследования - на растровом электронном микроскопе "TESLA B5-300". При постановке эксперимента использован метод математического планирования, обработку результатов и расчеты проводили на ЭВМ ИВМ-РС-366.

Научная новизна работы. Изучена взаимосвязь между твердением, структурообразованием и водоцементным отношением мелкозернистого бетона в сухих жарких условиях и показана целесообразность использования быстротвердеющих портландцементных композиций, обеспечивающих пониженное водосодержание. Научно обоснован и экспериментально подтвержден выбор комплексных химических добавок, включающих различные пластификаторы и ускоритель твердения - сульфат натрия, для портландцементов с разным содержанием двуводного гипса. Установлена возможность получения быстротвердеющих композиций на основе малогипсового портландцемента для бетонов, отличающихся повышенной прочностью в сухих жарких условиях. С использованием метода математического планирования эксперимента разработаны оптимальные составы малогипсовых портландцементных композиций для бетонов, твердеющих в сухих жарких условиях. Установлены особенности гидратации малогипсового портландцемента с комплексными химическими добавками и формирования микроструктуры его камня в сухих жарких условиях. Изучены строительно-технические свойства бетона на быстротвердеющих портландцементных композициях, твердеющего в сухих жарких условиях.

Практическая значимость работы. На основании полученных экспериментальных данных сделаны научно-обоснованные рекомендации по применению полученных результатов. Показано, что при использовании бетонов на быстротвердеющих малогипсовых портландцементе с комплексными химическими добавками полифункционального действия, включающих пластификаторы и сульфат натрия, создается возможность снижения материальных, энергетических и трудовых затрат при возведении монолитных конструкций в условиях сухого жаркого климата.

Производственные испытания быстротвердеющих малогипсовых портландцементных композиций проведены на Львовском ДСК-2 при изготовлении сборного железобетона методом сухого прогрева в среде продуктов сгорания газа, что позволило снизить расход цемента на 10-15 %.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Использование химических добавок в производстве сборного и монолитного железобетона" (Челябинск, 1991), международной научно-практической конференции "Технология и опыт монолитного домостроения" (Львов, 1992), научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Львовского политехнического института.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 2 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на страницах машинописного текста, включающих 28 таблиц, 25 рисунков и 2 приложения.

Во введении обосновывается актуальность поставленных задач и изложены основные вопросы, решаемые в работе.

В первой главе, являющейся литературным обзором, дан анализ современного состояния разработок в области технологии бетона в условиях сухого жаркого климата; приведены особенности производства бетонных работ в сухих жарких условиях; рассмотрены методы ухода за бетоном в условиях сухого и жаркого климата; приведены данные о применении быстротвердеющих цементов и химических добавок для интенсификации бетона. На основании анализа литературных источников осуществлен выбор направления диссертационной работы,

Во второй главе приведен состав исходных материалов, их химико-минералогические характеристики, описаны методы исследований и основные приборы, использованные в работе.

В третьей главе излагаются результаты исследований прочностных свойств и изменения водосодержания и мелкозернистого бетона со временем твердения в нормальных условиях и сухих жарких условиях; установлено, что при твердении бетона в сухих жарких условиях необходимо обеспечить пониженное водо-цементное отношение; изучено влияние комплексных химических добавок, состоящих из пластификатора и сульфата натрия как ускорителя твердения, на физико-механические свойства портландцементов с различным содержанием двуводного гипса при твердении в разных температурных условиях; методом математического планирования эксперимента получены графические зависимости прочности мелкозернистого бетона на малогипсовом портландцементе от количества добавок ЛСТМ-2 и сульфата натрия, а также температуры и условий твердения; установлено влияние минеральных добавок на кинетику твердения мелкозернистого бетона в разных температурных условиях; изучены фазовый состав и микроструктура камня основе малогипсовых портландцементных композиций в нормальных и сухих жарких условиях.

В четвертой главе приведены результаты лабораторных исследований по определению основных строительно-технических свойств крупнозернистых бетонов, твердевших в нормальных и сухих жарких условиях.

В пятой главе приведены результаты опытно-промышленных испытаний бетона на основе разработанных быстротвердеющих малогипсовых портландцементных композиций в условиях сухого прогрева в среде продуктов сгорания природного газа на Львовском ДСК-2.

Материалы диссертационной работы, представленные в главах 4 и 5, выполнены при научной консультации к.т.н. Шийко О.Я.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Сухой жаркий климат отличается продолжительным знойным летом (более 100 дней в году). Его характеризуют сильный нагрев в течение дня открытых поверхностей почвы и возводимых конструкций вследствие интенсивной солнечной радиации; значительные перепады температуры и влажности в течение суток; наличие ветров суховеев. В результате больших исследований по выявлению негативных послед-

ствий этих условий и особенностей технологии бетонных работ в науке о бетоне в последнее время созданы новые направления, способствующие повышению эффективности строительного производства в сухом жарком климате.

Прежде всего это относится к необходимости создания новых эффективных быстротвердеющих и особобистротвердеющих портландцементных композиций для условий сухого жаркого климата. При этом первоочередное значение приобретает водоцементный фактор (В/Ц). В настоящее время установлено, что в нормальных условиях с понижением В/Ц формируется более плотная и прочная микроструктура цементного камня. Однако в сухих жарких условиях для повышения удобоукладываемости бетонной смеси приходится часто вводить повышенное количество воды.

При изучении влияния В/Ц на кинетику твердения мелкозернистого бетона установлено, что с повышением В/Ц в сухих жарких условиях прочность мелкозернистого бетона становится ниже, причем с повышением В/Ц кинетика его твердения замедляется. После дополнительного выдерживания в течение 28 сут в нормальных условиях такие бетоны характеризуются некоторым недобором прочности. Причина различий в твердении бетона в сухих жарких условиях при различном В/Ц выявляется при определении изменения водосодержания в нем с возрастом твердения. Установлено, что уже через 4 ч при температуре 40°C и сухих условиях водосодержание снижается в три раза, тогда как в нормальных условиях оно изменяется не столь значительно. Следует отметить, что после суточного возраста в сухих жарких условиях водосодержание в бетоне выше при В/Ц=0,4 по сравнению с В/Ц=0,5. Этот фактор и обуславливает более высокий набор прочности в условиях сухого жаркого климата.

На практике для повышения удобоукладываемости бетонной смеси при пониженных В/Ц применяют пластифицирующие добавки, в числе которых наибольшее распространение получили многотоннажные отходы промышленности типа лигносульфонатов технических (ЛСТ). Однако такие добавки замедляют процессы раннего структурообразования, что особенно отрицательно сказывается при твердении бетона в сухих жарких условиях. Поэтому целесообразным является использование комплексных химических добавок, состоящих из пластификатора и ускорителя твердения. Наряду с лигносульфонатами использовали пластификатор формиатно-спиртовой (ПФС). В качестве ускорителя

твердения выбран сульфат натрия, не вызывающий коррозий арматуры в железобетоне. С этой целью можно также использовать твердый продукт сульфатных вод - побочный продукт производства синтетических жирных кислот на нефтеперерабатывающих заводах, содержащий 90 мас. %  $Na_2SO_4$ .

Вместе с тем, для применения добавки сульфата натрия в бетонах на рядовых портландцементеах имеется ряд ограничений (высолообразование на поверхности бетона при содержании  $SO_3$  в цементе более 1 мас. % и сбросы прочности при его дозировках свыше 2 мас. %). Это связано, в основном, с тем, что суммарное содержание  $SO_3$  в составе вяжущего превышает предельно допустимое для портландцементов ( $SO_3 \leq 3,5$  мас. %).

Для повышения эффективности использования добавки сульфата натрия в бетонах целесообразно использовать безгипсовые портландцементы и портландцементы с пониженным (1-2 мас. %) содержанием двуводного гипса, т.е. малогипсовые портландцементы. При этом создается возможность для применения сульфата натрия в повышенных количествах, что должно способствовать интенсификации твердения бетона, причем устраняется один из главных недостатков этой добавки - высокообразование.

С целью проведения сравнительных испытаний в работе использовались безгипсовый, малогипсовый (2 мас. % двуводного гипса) и рядовой (6 мас. % двуводного гипса) портландцементы, которые готовились путем помола Николаевского клинкера с добавками в лабораторной мельнице в течение 40-45 мин до остатка на сите 008 - 8 %. Комплексная химическая добавка, состоящая из пластификаторов и сульфата натрия, вводилась с водой затворения.

Установлено, что сроки схватывания портландцементных композиций изменяются в широких пределах. Для условий сухого жаркого климата согласно технических требований начало схватывания портландцементов должно наступать не ранее чем 30 мин. Безгипсовые портландцементные композиции не удовлетворяют указанным требованиям. Поэтому в дальнейших исследованиях использовались композиции на основе малогипсового портландцемента, который по сроках схватывания не существенно отличается от рядового.

Результаты испытаний малогипсовых портландцементных композиций при В/Ц=0,4 (таблица ) свидетельствуют, что комплексная химическая добавка обладает повышенной пластифицирующей способностью. При этом расплыв конуса цементно-песчаного раствора 1:2

Таблица

Прочность мелкозернистого бетона с химическими добавками (портландцемент малогипсовый,  
Ц:П = 1:2, В/Ц = 0,4)

Вид и количество химической добавки, мас. %			РК, мм	Предел прочности образцов, МПа, при сжатии в возрасте, сут.											
ПЭС	ЛСТМ-2	СН		20°C, н.у.					40°C, с.ж.у.						
				1	3	7	28	360	1	3	7	28	56 <sup>жк</sup>	360 <sup>жк</sup>	
-	-	-	118	6,2	23,5	30,1	35,0	44,0	9,2	13,1	14,5	15,3	26,0	40,0	
1,0	-	-	145	1,3	3,6	11,2	23,0	49,5	1,8	2,5	3,0	4,5	27,0	40,1	
1,0	-	1,0	184	2,3	4,5	15,2	25,2	45,5	2,7	4,2	5,0	5,7	28,7	47,5	
1,0	-	2,0	200	2,4	5,5	16,2	28,8	51,5	6,0	10,3	12,7	15,5	29,8	46,5	
0,5	-	2,0	167	4,0	26,2	33,8	40,3	49,0	10,8	13,5	14,3	18,0	23,3	44,5	
-	0,3	-	134	5,4	18,2	27,5	36,0	50,2	6,8	7,5	9,5	11,0	15,8	37,2	
-	0,3	2,0	195	6,7	25,7	29,5	37,5	50,0	12,0	14,2	15,3	16,5	28,7	45,6	
0,3	0,3	2,0	184	6,6	22,8	30,7	41,8	52,5	6,9	7,5	8,6	10,0	20,8	43,5	
-	-	-	187 <sup>жк</sup>	4,0	19,2	23,0	30,5	41,0	8,2	9,0	11,7	12,5	24,0	35,0	

<sup>жк</sup> - образцы твердели 28 сут. в сухих жарких условиях, а затем в н.у.

<sup>жк</sup> - исходное В/Ц = 0,5

увеличивается от 118 до 200 мм, т.е. на 70%. При этом также возрастает прочность мелкозернистого бетона как в нормальных, так и в сухих жарких условиях. Характерно, что расплыв конуса цементно-песчаного раствора с комплексными химическими добавками при В/Ц=0,4 выше, чем без добавок при В/Ц=0,5. Это свидетельствует, что при использовании малогипсового портландцемента с комплексными химическими добавками, включающими широко используемые пластификаторы типа ЛСТ, ПМС и сульфат натрия создается возможность, с одной стороны, существенно повысить пластичность бетонной смеси, а, с другой, интенсифицировать твердение бетона, в том числе в сухих жарких условиях. При этом более высокую прочность показывают образцы с добавками ЛСТМ-2 и сульфата натрия.

Для оптимизации состава малогипсовых портландцементных композиций, твердеющих в сухих жарких условиях, проведено многофакторное моделирование эксперимента. Математическое описание зависимости прочности образцов на сжатие через 1; 3 и 28 сут. в нормальных условиях и через 1 и 28 сут. при температуре 40°C в сухих условиях в зависимости от количества добавок ЛСТМ-2 и сульфата натрия выполнено с использованием центрального ротатабельного плана. На основе экспериментальных данных в заданном интервале варьирования количественного соотношения химических добавок (ЛСТМ-2 - 0; 2 и 4 мас.%) с помощью математической обработки на ЭВМ "IBM-PC-386" получены регрессионные уравнения прочности мелкозернистого бетона на малогипсовом портландцементе. Анализ полученных математических зависимостей осуществлялся методом двумерных сечений по поверхностям отклика, заданных уравнениями регрессии. В результате установлены оптимальные количества химических добавок для малогипсового портландцемента в различных условиях твердения. Так, если в нормальных условиях твердения в состав малогипсовых портландцементных композиций следует вводить 0,25-0,30 мас.% ЛСТМ-2 и 2,5-3,5 мас.% сульфата натрия, то в сухих жарких условиях необходимо уменьшить содержание ЛСТМ-2 до 0,15-0,20 мас.%. Характерно, что при этом суммарное количество  $S O_3$  в малогипсовой портландцементной композиции меньше предельно допустимого для портландцементов ( $S O_3 \leq 3,5$  мас.%), выше которого проявляется деструктивные процессы и высолообразование.

С целью выявления механизма гидратации малогипсовых портландцементных композиций в сухих жарких условиях проведены исследова-

ния продуктов их гидратации методами термического и рентгенофазового анализов. Установлено, что при гидратации малогипсового портландцемента при температуре  $40^{\circ}\text{C}$  в сухих условиях в течение 28 сут. на дериватограммах потери при прокаливании в камне с комплексной химической добавкой 0,2 мас.% ЛСТМ-2 и 3 мас.% сульфата натрия составляют 10,0 %, тогда как в камне без добавок - 8,5%, что свидетельствует о более интенсивной гидратации в камне с КХД. При этом количества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и карбонатов в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  составляют для малогипсового портландцемента без добавок и с КХД соответственно 4,9; 3,7 и 4,5; 6,8 мас.%. По данным рентгенофазового анализа как в нормальных, так и в сухих жарких условиях первичными гидрататными фазами являются этtringит и гидроксид кальция. Однако, через 28 сут. твердения в сухих жарких условиях этtringит исчезает и появляется галлообразный дифракционный максимум, который относится к гексагональным гидрокарбон- и гидросульфоалюминатам кальция ( $d/n = 0,76-0,80$  нм). Характерно, что через 1 сут. степень гидратации малогипсового портландцемента с КХД в нормальных и сухих жарких условиях практически не отличается (соответственно 36 и 35%). Однако через 28 сут. степень гидратации вяжущего в нормальных условиях выше, чем в сухих жарких (соответственно 53 и 43%). Вместе с тем, для портландцемента без добавок, твердевшего в сухих жарких условиях, степень гидратации еще ниже (34 %).

Методом растровой электронной микроскопии установлено, что в камне без добавок, твердевшем в сухих жарких условиях, находится большое количество мелких пор размером 1...5 мкм, в которых практически отсутствуют продукты гидратации. В камне же с КХД наблюдается повышенное количество гексагональных пластинчатых кристаллов, которые с возрастом коагулируют поры.

Таким образом, комплексная химическая добавка, включающая пониженное количество пластификатора типа ЛСТМ-2 и повышенное количество ускорителя твердения - сульфата натрия, вследствие формирования более плотной микроструктуры цементного камня за счет пониженного водоцементного отношения и повышенной степени гидратации цемента позволяет значительно интенсифицировать твердение в условиях сухого жаркого климата. Л.Г.Шпыновой показано, что для синтеза прочности цементного камня необходимо увеличить удельное количество метамиктной составляющей, что достигается снижением водоцементного отношения и более компактным размещением

исходных цементных зерен в цементном тесте бетонной смеси или раствора, а также модифицированием цементного камня.

Одним из путей модифицирования микроструктуры цементного камня является использование химических и минеральных добавок. Для быстротвердеющих портландцементов допускается вводить до 6-8 мас. % опоки и до 10-15 мас. % доменного гранулированного шлака. В связи с этим, исследовано влияние указанных активных минеральных добавок, а также карбонатных добавок (тонкомолотые известняк и мел) и золы-уноса Бурштинской ГРЭС на прочностные свойства мелкозернистого бетона на основе малогипсового портландцемента с добавками ЛСТМ-2 и сульфата натрия при твердении в различных условиях. Установлено, что добавка опоки в количестве до 6 мас. % способствует увеличению набора прочности бетона в ранний период твердения как в нормальных, так и в сухих жарких условиях. При введении в состав вяжущего добавки золы-уноса в количестве до 10% мас. прочность бетона в сухих жарких условиях изменяется не существенно, что позволяет экономить портландцементный клинкер при ведении бетонных работ. Аналогично ведут себя карбонатные добавки. Вместе с тем, добавка доменного гранулированного шлака, имеющего зерна с гладкой стекловидной поверхностью наоборот, приводит к недоборам прочности бетона в сухих жарких условиях. Это свидетельствует, что минеральные добавки с повышенной адсорбционной способностью в небольшом количестве (5-10 мас. %) способствуют увеличению водосодержания в бетоне в ранний период твердения в условиях сухого жаркого климата, что приводит к повышению прочности бетона.

Для исключения потерь влаги из свежесделанного бетона в сухом жарком климате весьма эффективным является применение влаго непроницаемых пленок (например, полиэтиленовой). Установлено, что выдерживание в таких условиях мелкозернистого бетона на малогипсовых портландцементных композициях только в течение 1...3 сут. способствует ускорению набора прочности в 1,3...1,8 раза и позволяет при дальнейшем выдерживании в сухих жарких условиях достигнуть марочной прочности.

Для определения возможности использования разработанных малогипсовых портландцементных композиций при монолитном бетонировании в сухих жарких условиях определялись строительные-технические свойства крупнозернистого бетона.

К числу одних из наиболее серьезных осложнений в производстве бетонных работ в сухом жарком климате относится быстрая потеря подвижности (сохраняемости) бетонных смесей в процессе транспортирования или выдерживания до укладки, их пересыхание под действием прямых солнечных лучей и повышенной температуры. Указанные факторы приводят к некачественной укладке бетона и, как следствие, происходят нарушение его структуры, снижение прочности и ухудшение других строительно-технических свойств.

Технологические свойства бетонных смесей исследовались на рядовом, малогипсовом и безгипсовом портландцементе с комплексными химическими добавками в нормальных и сухих жарких условиях. Установлено, что повышенная температура приводит к ускорению загустевания и потере подвижности бетонных смесей на всех цементных композициях. Однако бетонные смеси на малогипсовом портландцементе с комплексной химической добавкой ЛСТМ-2 и сульфата натрия обладают более высокой сохраняемостью в сравнении с остальными. При этом за счет синергизма компонентов комплексной химической добавки достигается снижение водопотребности бетонной смеси на 10 % в сравнении с бетонными смесями на рядовом портландцементе без добавок.

Повышенное количество добавки сульфата натрия в составе малогипсовой портландцементной композиции приводит к существенному повышению прочности бетона в раннем возрасте твердения как в нормальных, так и в сухих жарких условиях. Так, в нормальных условиях прочность такого бетона по сравнению с бетоном на рядовом портландцементе в начальный период увеличилась в 1,9...2,5 раза и через 28 сут. - на 8...16 %. При твердении образцов бетона в климатической камере при температуре 40°C в сухих условиях прочность бетона на малогипсовой портландцементной композиции через 1 сут. превышала прочность бетона на рядовом портландцементе без добавок в 1,7...1,9 раза, а на 28-е сутки - на 17...26 %. Характерно, что для разработанных цементных композиций не наблюдались недоборы прочности при последующем выдерживании бетона в нормальных условиях.

Из приведенных испытаний следует, что использование малогипсовой портландцементной композиции позволяет получить бетон, твердеющий в условиях сухого жаркого климата без недоборов прочности при последующем выдерживании в нормальных условиях за счет пре-

дотвращения существенных деструктивных процессов в ранний период из-за ускоренного формирования микроструктуры цементного камня. Дополнительное введение в состав вяжущего до 6 мас. % опоки способствует интенсификации твердения бетона в сухих жарких условиях за счет увеличения водоудерживающей способности.

Призменная прочность и начальный модуль упругости бетона на малогипсовом портландцементе с комплексной добавкой ЛСТМ-2 и сульфата натрия значительно (на 30 %) выше аналогичных показателей бетона на рядовом портландцементе как в нормальных условиях, так и в сухих жарких условиях. При твердении в комбинированных условиях (28 сут. при температуре 40°C в сухих условиях, а затем 28 сут. в нормальных условиях) призменная прочность и начальный модуль упругости бетона на малогипсовой портландцементной композиции соответственно на 12 и 13 % выше, чем у бетона на рядовом портландцементе без добавок, твердевшего в нормальных условиях. Вместе с тем, при твердении бетона на рядовом портландцементе в комбинированных условиях его призменная прочность и начальный модуль упругости ниже, чем при твердении в нормальных условиях, соответственно на 20 и 14 %. Для малогипсовой портландцементной композиции с опокой деформативные свойства бетона при твердении в сухих жарких условиях несколько повышаются.

При твердении бетона в условиях сухо жаркого климата наибольшую опасность, с точки зрения нарушения структуры, представляет влажностная усадка. Интенсивное испарение влаги с поверхности бетона приводит к растрескиванию конструкций и сооружений, снижению прочности и долговечности бетона. Предотвращение чрезмерной усадки является одной из важнейших задач бетоноведения в условиях сухого жаркого климата.

В работе также установлено, что в условиях сухого жаркого климата усадка бетона существенно возрастает. Вместе с тем, в бетоне на малогипсовой портландцементной композиции в начальные сроки твердения при повышенной температуре происходит небольшое расширение, обусловленное более интенсивным протеканием процессов гидратации вяжущего и формированием плотной структуры цементного камня за счет пониженного В/Ц и образования кристаллов этрингита. При последующем твердении в климатической камере в сухих жарких условиях происходит усадка бетона, вызванная испарением воды. Следует отметить, что в период стабилизации усадочных деформаций их значение для бетона на малогипсовой портландцементной композиции в 2 раза ниже, чем у бетона на рядовом портландце-

менте с добавкой 0,2 % ЛСТМ-2 при твердении в аналогичных условиях. Характерно, что усадочные деформации бетона на малогипсовой портландцементной композиции при твердении в сухих жарких условиях несколько ниже в сравнении с бетоном на рядовом портландцементе, твердевшим в нормальных условиях. Дополнительное введение добавки 6 мас. % опоки в состав малогипсовой портландцементной композиции приводит к некоторому увеличению усадочных деформаций, однако их значение ниже, чем для бетона на рядовом портландцементе как в нормальных, так и в сухих жарких условиях.

Исследования морозостойкости бетона на малогипсовом портландцементе с добавками ЛСТМ-2 и сульфата натрия, проведенные по усовершенствованной методике согласно ГОСТ 10060-87, показали его достаточно высокую стойкость при попеременном замораживании и оттаивании. Образцы такого бетона, твердевшие при комбинированном режиме, выдерживали 6 циклов попеременного замораживания при температуре 60°C и оттаивания в водном растворе NaCl, что соответствует марке бетона по морозостойкости F 300. При этом снижение прочности образцов не превышало 5 % по сравнению с контрольными, шелушение и выкрашивание поверхности отсутствовало. При дополнительном введении в состав вяжущего добавки 6 мас. % опоки морозостойкость бетона не снижается.

Высокообразование у бетона малогипсовом портландцементе с добавками 0,2 мас. % ЛСТМ-2 и 3 мас. % сульфата натрия, твердевшего в нормальных и сухих жарких условиях, не наблюдалось.

Производственные испытания бетона на Николаевском малогипсовом (1,5 мас. %  $SO_3$ ) портландцементе с комплексными химическими добавками проведены на Львовском домостроительном комбинате № 2 в условиях сухого прогрева в среде продуктов сгорания природного газа. В этом случае условия тепловой обработки во многом аналогичны условиям твердения бетона в сухим жарком климате. Они отличаются повышенной температурой камеры сухого прогрева, достигающей 60...90°C. В результате установлено, что использование малогипсового портландцементе с комплексными химическими добавками, включающими ЛСТМ-2,  $H_2O$  и сульфат натрия, в бетонах, подвергавшихся тепловой обработке в камере сухого прогрева, способствует повышению прочности бетона или создает возможность сокращения на 10...15 % расхода вяжущего по сравнению с рядовым портландцементом.

В регионах с сухим жарким климатом применение разработанных быстротвердеющих малогипсовых портландцементных композиций при монолитном бетонировании дает возможность повысить качество и ускорить производство бетонных работ при одновременном снижении их трудоемкости и стоимости.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании экспериментальных исследований показана целесообразность использования при бетонировании в сухих жарких условиях быстротвердеющих малогипсовых портландцементных композиций, включающих комплексные полифункциональные химические добавки из пластификатора типа ЛСТ, ПФС и др. и сульфата натрия.

2. Показано, что для бетона, твердеющего в сухих жарких условиях, за счет снижения водоцементного отношения и формирования плотной структуры цементного камня достигается повышенное водосодержание, что обеспечивает более высокий набор прочности. Резкое снижение (в три раза) водосодержания в образцах мелкозернистого бетона приводит к недобору прочности на 40-60 %. После дополнительного выдерживания в течение 28 сут. в нормальных условиях такие бетоны также характеризуются некоторым недобором прочности.

3. Установлено, что малогипсовые портландцементы, включающие пониженное до I-2 мас. % количество двуводного гипса, с добавками пластификаторов типа ЛСТ и ПФС и повышенным (2-4 мас. %) содержанием сульфата натрия обладают регулируемыми сроками схватывания и обеспечивают повышенную прочность бетона в нормальных и в сухих жарких условиях. При этом в более полной мере реализуются свойства сульфата натрия как эффективного ускорителя твердения.

4. Методом математического планирования эксперимента проведено прогнозирование прочности мелкозернистого бетона на основе малогипсового портландцемента с добавками ЛСТА-2 и сульфата натрия с возрастом твердения в различных условиях. На основе регрессионных уравнений прочности мелкозернистого бетона установлено оптимальное соотношение химических добавок для нормальных условий (0,25-0,30 мас. % ЛСТА-2 и 2,5-3,5 мас. % сульфата натрия) и для сухого жаркого климата (0,15-0,20 мас. % и 2,5-3,5 мас. % сульфата натрия).

5. Методами физико-химического анализа установлено, что малогипсовая портландцементная композиция в условиях сухого жаркого климата характеризуется формированием плотной микроструктуры цементного камня за счет пониженного значения В/Ц и ускорения процессов структурообразования и обеспечивает более интенсивный набор прочности бетона по сравнению с рядовыми портландцементами. При этом через 28 сут. твердения в сухих жарких условиях степень гидратации вяжущего повышается на 10-15 %, а основными продуктами гидратации являются гидроксид кальция и гексагональные гидрокарбоалюминаты кальция, которые коагулируют поры цементного камня.

6. Показано, что, подбирая вид и количество минеральных и химических добавок, можно регулировать темп твердения бетона на основе малогипсовых портландцементов в сухих жарких условиях и формирование микроструктуры цементного камня. Для повышения водосодержания в мелкозернистом бетоне в состав вяжущего целесообразно вводить до 5 мас. % опоки, а также использовать до 10 мас. % золы-уноса или карбонатных добавок, что приводит к интенсификации твердения в ранний период. Добавка же доменного гранулированного шлака, имеющего зерна с гладкой стекловидной поверхностью, вследствие большего испарения влаги приводит к недоборам прочности бетона, твердеющего в сухих жарких условиях.

7. Изучено влияние комплексных химических добавок на сохранение бетонных смесей портландцемента с разным содержанием двуводного гипса в нормальных условиях и в условиях повышенных температур. Показано, что бетонные смеси на малогипсовом портландцементе с комплексными химическими добавками обладают повышенной (почти в 2 раза) сохраняемостью в жарких сухих условиях.

8. Установлено, что бетон на малогипсовом портландцементе с добавками ЛСТ и сульфата натрия более интенсивно, чем на рядовом (в 1,7...1,9 раза в начальные сроки твердения), набирает прочность при повышенных температурах, что позволяет избегать недоборов прочности в поздние сроки твердения. Дополнительно введение в состав такого вяжущего добавки опоки позволяет увеличить прочность бетона, твердевшего в сухих жарких условиях.

9. Призмная прочность и модуль упругости бетона на малогипсовом портландцементе с комплексными химическими добавками при твердении в жарких сухих условиях не снижается по сравнению с бетоном на рядовом портландцементе, твердеющем в нормальных условиях.

10. Усадка бетона на малогипсовом портландцементе с комплексными химическими добавками, твердевшего в сухих жарких условиях, значительно ниже (на 49 %) усадочных деформаций бетона на рядовом портландцементе, твердевшего в аналогичных условиях и находится на уровне усадочных деформаций бетона на рядовом портландцементе при его твердении в нормальных условиях.

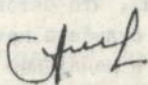
11. Установлено, что бетон на малогипсовом портландцементе с комплексными химическими добавками обладает повышенной морозостойкостью, при твердении в сухих жарких условиях. Морозостойкость такого бетона соответствует марке F-300. Высокообразование у такого бетона отсутствует.

12. Производственные испытания бетона на малогипсовом портландцементе с комплексными химическими добавками показали его эффективность в сухих жарких условиях и возможность при этом экономии 10...15 % цемента для достижения заданной прочности бетона.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Саницкий М.А., Шийко О.Я., Мохамед Али. Бетон на безгипсовом портландцементе//Использование химических добавок в производстве сборного и монолитного бетона и железобетона: Тез. докл. науч.-техн. семинара. Челябинский гос. техн. ун-т.-Свердловск, 1991.-С.29-30.

2. Мохамед Али, Боднар Ю.В., Шийко О.Я. Вплив сухого жаркого клімату на твердіння портландцементів з комплексними добавками//Хімія, технологія речовин та їх застосування. Вісник Львів. політехн. ін-ту, № 261, Львів.-1993.



Подписано к печати 18.03.93. Формат 60x84/16.  
Объем I печ. лист. Зак. 241. Тир. 100. Бесплатно.

Отпечатано офсетным способом  
в учебно-экспериментальной типографии  
Украинского полиграфического института  
имени Ивана Федорова  
г. Львов-4, ул. Дичковская 3.

471068

Бесплатно. [Illegible text]

AB 26.936

**AB 26.936**