

УДК 666.972

**ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА ПРИ ТВЕРДЕНИИ
В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ****Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Тоимбаева Б.М., Жаутикова С.А., Иманов Е.К.***Карагандинский государственный технический университет, Караганда,
e-mail: saltynchik@mail.ru*

В статье представлены исследования прочности бетона при твердении в различных климатических условиях. Авторами проведены исследования с приготовлением бетонной смеси различных составов с добавками и без них при постоянном расходе цемента и постоянной подвижности смеси. Подбор состава бетона производился расчетно-экспериментальным методом. Анализ полученных результатов показывает, что введение в состав бетонной смеси предлагаемой гидрофобизирующей добавки КСИ позволяет повысить прочность бетона в сравнении с контрольной добавкой С-3 и с бетоном без добавок. Повышение прочности бетона с этими добавками объясняется в первую очередь влиянием этих добавок на модифицирование поровой структуры цементного камня. Исследовано влияние продолжительности твердения бетона в присутствии раннего ухода на его прочность в течение 9 месяцев твердения. Результаты показали, что рост прочности бетона без добавок и с добавкой С-3 снижается со временем, в то время как прочность бетона с предлагаемой добавкой повышается. Рассмотрены вопросы влияния предлагаемой добавки на уменьшение массообмена (влагопотери) бетона, количество негидратированных клинкерных минералов. Результаты исследований показали, что предлагаемая гидрофобизирующая добавка оказывает лучший эффект на прочность бетона по сравнению с добавкой С-3.

Ключевые слова: прочность бетона, климатические условия, твердение бетона, бетонная смесь, гидрофобизирующая добавка

STRENGTH OF CONCRETE IN HARDNESS IN VARIOUS CLIMATIC CONDITIONS**Rakhimov M.A., Rakhimova G.M., Toimbaeva B.M., Zhautikova S.A., Imanov E.K.***Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: saltynchik@mail.ru*

The paper presents studies of the strength of concrete during quenching under various climatic conditions. The authors carried out studies with the preparation of a concrete mix of various compositions with and without additives, with a constant flow of cement and constant mobility of the mixture. The choice of concrete was made by the calculation-experimental method. Analysis of the obtained results shows that the introduction of the proposed hydrophobic CSI additive into the concrete mixture allows to increase the strength of concrete in comparison with the control additive C-3 and concrete without additives. The increase in the strength of concrete with these additives is primarily due to the effect of these additives on the modification of the porous structure of the cement stone. The influence of the duration of hardening of concrete was studied in the presence of early care for its strength during 9 months of solidification. The results showed that the increase in the strength of concrete without additives and with the addition of C-3 decreases with time, and the strength of concrete with the proposed additive increases. The questions of the influence of the proposed additive on the reduction of mass transfer (loss of moisture) of concrete, the amount of non-hydrated clinker minerals are considered. The results of the studies showed that the proposed hydrophobic additive better affects the strength of concrete compared with the addition of C-3.

Keywords: concrete strength, climatic conditions, hardening of concrete, concrete mixture, hydrophobizing additive

В мире ежегодно при возведении зданий и сооружений укладываются более полутора миллиардов кубических метров бетона. В бывшем Советском союзе ежегодно в строительстве применялось более 250 млн м³ бетона и железобетона. Современное производство бетона и железобетона тесно связано с широким применением различных химических добавок, которые в малых дозировках позволяют регулировать технологический процесс и получать бетон и железобетон с требуемыми физико-техническими свойствами [1].

Большой вклад в разработку теоретических и практических основ создания и применения добавок в технологии бетона внесли коллективы многих институтов, особенно НИИЖБ Госстроя СССР, ВНИИжелезобетон, НИИцемента, МИСИ, МАДИ, ВНИИГ,

ОИСИ и других, под руководством и при непосредственном участии Л.А. Алимова, Н.В. Ахвердова, Г.И. Горчакова, Б.В. Гусева, Н.Н. Долгополова, Ф.М. Иванова, О.В. Кузнецовина, А.В. Лагойды, Л.А. Малининой, А.П. Меркина, О.П. Мчедлова-Петросяна, Л.П. Орендлихер, А.В. Тринткера, В.Р. Фаликмана, М.И. Хигеровича, С.В. Шестоперова и др.

Значительные исследования проведены за рубежом (В. Адам, И. Боузел, С. Брунауэр, Ф. Вавржин, М. Венюа, Г. Добролюбов, Д. Конрад, Г. Кюль, Ф.М. Ли, Т. Пауэрс, Б. Райхель, В. Рамачандран и др.).

Исторический опыт свидетельствует о том, что за много столетий до нашего времени практиковалось применение органических веществ в качестве добавок [2]. В настоящее время номенклатура рекомен-

двух добавок включает несколько сот наименований, особое место среди которых занимают добавки, содержащие в своем составе гидрофобизирующие ингредиенты, получаемые из продуктов и отходов нефтехимического синтеза, масложировой и целлюлозно-бумажной промышленности. Они не дефицитны, дешевы и не вызывают интоксикации организма человека [3]. Кроме того, они положительно влияют на физико-технические свойства бетона и железобетона не только в ранние сроки, но и на весь период эксплуатации их в строительных объектах.

В настоящее время в перспективе для изготовления гидрофобизирующих добавок имеется широкая сырьевая база, стоимость которой сравнительно невысокая.

В пятидесятых годах профессор М.И. Хигерович впервые применил гидрофобизирующие добавки при изготовлении гидрофобного цемента. Гидрофобизатор вводили в мельницу при сухом помоле цементного клинкера. Для качества гидрофобизатора применялись нафтеновые или синтетические жирные кислоты, которые в силу своей природы в воде не растворяются.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований, опыта и применение гидрофобного цемента в бетонах показали эффективность в решении разнородных задач, связанных с улучшением технологии цементов, бетонов и растворов, с обеспечением их долговечности в конструкциях и сооружениях и в получении экономических выгод [3].

В последние десятилетия ассортимент гидрофобизирующих веществ заметно расширился за счет использования продуктов нефтехимического синтеза и продуктов, получаемых при неглубокой переработке нефти. По способу получения эти вещества подразделяют на следующие основные группы – битумные дисперсии (эмульсии, эмульсосуспензии, пасты); стеариновая пальмитиновая, олеиновая и нафтенная кислоты; абеитиновые, канифольные и нафтенные мыла; окисленные петролатумы; кремний-органические полимеры [4].

Способность материалов сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих в результате действия на них внешних сил, называют прочностью [5]. Определяющими факторами высокой прочности бетонов можно назвать прочность цементного камня и контактного слоя его с заполнителем [5]. Прочность цементного камня определяется в основном прочностью на контактах между новообразованиями и плотностью упаковки в объеме.

Специфика бетона состоит в том, что достичь повышения прочности можно, лишь выполнив целый комплекс мероприятий, среди которых наиболее важные: снижение водопотребности бетонной смеси не менее 10%, обеспечение высокой подвижности в момент укладки, создание условий твердения, предотвращающих раннее обезвоживание бетона, интенсификация процесса твердения и создание защитных свойств бетонной смеси.

Изделия, изготовленные из бетонных смесей, могут изменять свои свойства в различных условиях эксплуатации. В разных случаях воздействие может быть различным: как благоприятные, оказывающие влияние на твердение, так и наоборот, вызывающие замедление роста прочности, ухудшающие структуру и снижающие качество бетона [6].

На прочность бетона оказывают влияние и его составляющие: сцепление между заполнителями и цементным камнем, оказывающие влияние на плотность структуры бетона. Также на прочность бетона оказывают влияние технологические способы уплотнения, его однородность, возраст, влажность, условия твердения и т.п.

В настоящем разделе рассмотрен вопрос твердения бетона в различных климатических условиях с целью определения оптимальной прочности отвердевших бетонов с различными добавками и без добавок.

Рассмотрен процесс твердения бетона в различных климатических условиях с целью определения оптимальной прочности отвердевших бетонов с различными добавками и без добавок.

Для проведения исследований готовили бетонную смесь состава 1:2, 28:4 с добавками и без них при постоянном расходе цемента 300 кг/м³ и постоянной подвижности смеси равной 3–4 см по осадке стандартного конуса для всех составов с некоторой корректировкой воды затворения для сравнения результатов. Подбор состава бетона производился расчетно-экспериментальным методом [7] согласно ГОСТ 27006. Результаты испытания образцов бетона на прочность при сжатии в течение 6 месяцев твердения в нормальных условиях приведены в табл. 1.

Из данных таблицы видно, что введение в состав бетонной смеси предлагаемой гидрофобизирующей добавки КСИ позволяет повысить прочность бетона при сжатии (М-200) в течение 28 суток твердения в нормальных условиях соответственно на 13% в сравнении с бетоном без добавок. В то же время контрольная добавка С-3 повышает его прочность на 26% в сравнении с бетоном без добавок.

Необходимо отметить, что предлагаемая гидрофобизирующая добавка КСИ способствует повышению прочности бетона при продолжительности его твердения в нормальных условиях и в возрасте 180 суток, позволяет повысить его прочность при сжатии соответственно на 18%, а контрольная добавка С-3 повышает его прочность в таком возрасте на 31% в сравнении с бетоном без добавки. Повышение прочности бетона с этими добавками объясняется в первую очередь влиянием этих добавок на модифицирование поровой структуры цементного камня.

Однако интерес представляет вопрос влияния предлагаемых гидрофобизирующих добавок на кинетику нарастания прочности бетона. Это наиболее важный спектр перечисленных проблем, поскольку, если эти добавки не будут предотвращать дефекты воздействия климата, то выполнение остальных требований теряет смысл.

В связи с этим нами исследовано влияние разработанной добавки на кинетику нарастания прочности бетона при продолжительности его твердения, а также в присутствии раннего ухода.

Из данных результатов установлено, что гидрофобизирующая добавка КСИ позволяет повысить прочность бетона при сжатии в возрасте 1 месяца твердения без ухода за ним на 12%, в то время как контрольная добавка С-3 повышает его прочность соответственно на 13% в сравнении с бетоном без добавок.

Интерес представляет влияние продолжительности твердения бетона в указанных условиях в течение 9 месяцев, где видно, что 1 месяц твердения в этих условиях рост прочности бетона без добавок исчезает, а после 5 месяцев твердения его прочность начинает уменьшаться и в возрасте 9 месяцев его прочность уменьшается на 6% в сравнении с его прочностью в возрасте 1 месяца твердения. Также интерес представляет снижение прочности бетона с добавкой С-3 после 3 месяцев твердения в указанных условиях, а в возрасте 9 месяцев прочность бетона с добавкой С-3 снижается на 5% в сравнении с его прочностью в возрасте 3 месяцев. Такой характер снижения прочности бетона при продолжительности его твердения в указанных условиях не наблюдается в присутствии предлагаемой гидрофобизирующей добавки КСИ, которая повышает прочность бетона в возрасте 9 месяцев соответственно на 18%, но контрольная добавка С-3 повышает его прочность в таком возрасте на 17% в сравнении с бетоном без добавок. При этом установлено, что добавка КСИ оказывает лучший эффект на повышение прочности бетона без ухода по сравнению с контрольным.

В связи с этим нам необходимо было рассмотреть влияние раннего ухода за бетоном, при увлажнении поверхности образцов бетона водой в течение 3 суток после укладки. Эти исследования представляют интерес из-за того, что технолог должен знать влияние такого раннего ухода за бетоном на его прочность при продолжительности его твердения в указанных условиях.

Из данных результатов установлено, что применение раннего ухода за бетоном приводит к повышению его прочности при сжатии в возрасте 28 суток твердения в указанных условиях на 15% в сравнении с его прочностью при твердении без раннего ухода.

Также установлено, что предлагаемая гидрофобизирующая добавка КСИ позволяет повысить прочность бетона в возрасте 28 суток твердения в присутствии раннего ухода за ним соответственно на 13%, но контрольная добавка С-3 повышает его прочность в таком возрасте на 21% в сравнении с бетоном без добавок. Однако интерес представляет влияние продолжительности твердения бетона в присутствии раннего ухода на его прочность в течение 9 месяцев твердения, из которого видно, что рост прочности бетона без добавок и с добавкой С-3 снижается со временем, а такой характер ранее не наблюдали с гидрофобизирующей добавкой, которая повышает прочность бетона в возрасте 9 месяцев на 22% в сравнении с бетоном без добавок. В то же время контрольная добавка С-3 повышает его прочность на 25%.

Повышение прочности монолитного бетона, модифицированного добавкой КСИ в присутствии предлагаемого раннего ухода за бетоном объясняется влиянием этой добавки на уменьшение массообмена (влагопотери) бетона, количество негидратированных клинкерных минералов, а также эффектом гидрофобизации внутренних капилляров и пор цементного камня. При этом можно утверждать, что предлагаемая гидрофобизирующая добавка оказывает лучший эффект на прочность бетона по сравнению с добавкой С-3. Однако прочность бетона, твердеющего в присутствии предлагаемого ухода, меньше, чем его прочность в нормальных условиях, на 20% с добавкой и на 27% с бетоном без добавок.

Таким образом, возникает необходимость применения солей неорганических кислот, так как любые ПАВ замедляют сроки схватывания цементного теста и темп роста прочности в раннем возрасте [7]. То есть если и не будет достигнут эффект синергизма в исследуемом комплексе, то проблему ускорения твердения в частных случаях необходимо будет решать.

Таблица 1

Влияние предлагаемых гидрофобизирующих добавок на прочность цементного бетона М-200 при продолжительности его твердения в нормальных условиях

Количество и вид добавки	В/Ц	ОК, см	Прочность бетона при сжатии, Мпа в возрасте, сутки						
			3	7	28	90	120	150	180
1. Без добавки (контрольный)	0,64	3-4	$\frac{13,2}{1,00}$	$\frac{16,4}{1,00}$	$\frac{21,2}{1,00}$	$\frac{22,4}{1,00}$	$\frac{22,7}{1,00}$	$\frac{22,6}{1,00}$	$\frac{22,8}{1,00}$
2. 0,6% С-3	0,51	3-4	$\frac{16,7}{1,26}$	$\frac{20,6}{1,26}$	$\frac{26,8}{1,26}$	$\frac{29,8}{1,31}$	$\frac{29,8}{1,31}$	$\frac{30,0}{1,33}$	$\frac{30,0}{1,31}$
3. 0,4% КСИ	0,53	3-4	$\frac{14,1}{1,07}$	$\frac{17,9}{1,07}$	$\frac{23,9}{1,13}$	$\frac{25,9}{1,16}$	$\frac{26,3}{1,16}$	$\frac{26,6}{1,18}$	$\frac{26,9}{1,18}$

Таблица 2

Стойкость бетона, модифицированного добавкой КСИ

№ п/п	Наименование добавки	Дозировка от массы цемента, %	В/Ц	ОК, см	Rсж, Мпа до испытания	R*сж, Мпа после испытания	$K_c = \frac{R^*}{R}$
1	Без добавки (контрольный)	–	0,64	3-4	$\frac{14,60}{1,00}$	$\frac{18,00}{1,00}$	1,233
2	С-3	0,6	0,51	3-4	$\frac{17,7}{1,21}$	$\frac{24,52}{1,37}$	1,391
3	КСИ	0,4	0,54	3-4	$\frac{18,10}{1,24}$	$\frac{26,10}{1,45}$	1,442

Примечание. Kс – коэффициент стойкости бетона.

Таблица 3

Стойкость бетона, модифицированного добавкой КСИ

№ п/п	Наименование добавки	Дозировка от массы цемента, %	В/Ц	ОК, см	Rсж, Мпа до испытания	R*сж, Мпа после испытания	$K_c = \frac{R^*}{R}$
1	Без добавки (контрольный)	–	0,64	3-4	$\frac{16,80}{1,00}$	$\frac{20,20}{1,00}$	1,202
2	С-3	0,5	0,51	3-4	$\frac{21,40}{1,27}$	$\frac{27,90}{1,38}$	1,304
3	КСИ	0,4	0,54	3-4	$\frac{21,80}{1,30}$	$\frac{28,70}{1,42}$	1,317

Результаты испытаний образцов бетона, модифицированного гидрофобизирующей добавкой КСИ, и без добавок на прочность при сжатии до испытания и после испытания (после 50 циклов увлажнения и высыхания) приведены в табл. 2 и 3.

Из данных табл. 2 установлено, что прочность бетона без добавок после 50 циклов увлажнения и высыхания значитель-

но повышается на 23% в сравнении с его прочностью до испытания. Также видно, что прочность бетона, модифицированного добавкой КСИ, после этих испытаний существенно повышается соответственно на 45% в сравнении с бетоном без добавок. В то время как контрольная добавка С-3 позволяет повысить прочность бетона после указанных испытаний соответственно

на 37% в сравнении с бетоном без добавок. При этом коэффициент стойкости бетона с добавкой МСМ повышается на 45% в сравнении с бетоном без добавок.

Из данных табл. 3 установлено, что введение предлагаемой добавки КСИ в состав бетона, твердеющего в условиях с уходом за ним, позволяет повысить его прочность после 50 циклов испытания соответственно на 42% в сравнении с бетоном без добавок, а также на 32% в сравнении с его прочностью до испытания, что приводит к повышению его стойкости в указанных условиях на 42–73% в сравнении с бетоном без добавок.

Повышение стойкости бетона, модифицированного указанными добавками, после 50 циклов увлажнения и высыхания объясняется установлением процесса гидратации негидратированных клинкерных минералов цемента при насыщении образцов водой, который практически остановился вследствие интенсивного испарения влаги из свежеуложенного бетона, а также объясняется

влиянием этих добавок на модифицирование поровой структуры бетона и уменьшение его массообмена в этих условиях.

Список литературы

1. Эффективность применения комплексных добавок ПАВ и электролитов / Б.Д. Тринкер [и др.] // Бетон и железобетон. – 2007. – № 10. – С. 12–13.
2. Байджанов Д.О., Малышев О.А. Экструзионный бетон. Модифицированный (Теория и практика): монография предназначена для преподавателей, докторантов, магистрантов и студентов строительных специальностей. – Караганда: КарГТУ, 2013. – 217 с.
3. Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология строительных изделий и конструкций. Бетонведение: учебник для студентов, магистрантов и аспирантов вузов. – М.: Академия, 2015. – 424 с.
4. Добавки в бетон. Справочное пособие / В.С. Рамачандран [и др.]. – М.: Стройиздат, 2008. – 575 с.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Издательство АСВ, 2013. – 490 с.
6. Чаус К.В., Чистов Ю.Д., Лабзина Ю.В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
7. Рагинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 2009. – 188 с.