

УДК 66.022.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Рахимов А.М., Садирбаева А.М., Иманов Е.К.

Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: galinrah@mail.ru

Проведены исследования влияния гидрофобизирующих модификаторов ГКМ и ГКМ-А на капиллярно-пористую структуру цементного камня по сравнению со структурой цементного камня без добавок. Также исследовано влияние гидрофобизирующих модификаторов на кубиковую и призмную прочность бетонов и их усадочную деформацию. Испытания проводились путем насыщения образцов бетона водой под вакуумом, далее образцы высушивались и выполнялись вышеперечисленные исследования. Испытывали на осевое сжатие и растяжение при изгибе образцы-призмы. Деформации определяли на каждой ступени нагружения при помощи электронного измерителя АИ-1. Анализ исследований показал, что гидрофобизирующие модификаторы улучшают не только подвижность бетонной смеси, но и основные физико-механические свойства бетона, снижают капиллярный подсос, водопоглощение, повышают водостойкость, морозо- и коррозионностойкость.

Ключевые слова: гидрофобизирующие комплексные модификаторы, цементный камень, призмная прочность, свойства бетона

INVESTIGATION OF COMPLEX ORGANIC HYDROPHOBIC MODIFIERS EFFECT ON THE PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

Rakhimov M.A., Rakhimova G.M., Rakhimov A.M., Sadirbayeva A.M., Imanov E.K.

Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: galinrah@mail.ru

The paper presents the investigation on the effect of HCM and HCM-A hydrophobic modifiers on the capillary-porous structure of cement paste compared to the structure of cement paste without additives. Also the influence of hydrophobic modifiers on the cube and prism strength of concrete and shrinkage was investigated. Tests were carried out by saturating the concrete samples with water under vacuum, the samples were dried and then the above mentioned studies were performed. Prism specimen were tested for axial compression and bending tensile. Deformation was determined at each stage of loading with an electronic measurer AI-1. Analysis of studies have shown that hydrophobic modifiers improve not only the mobility of the concrete mix, but also basic physical and mechanical properties of concrete, reduce capillary suction, water absorption, increase water resistance, frost and corrosion resistance.

Keywords: hydrophobic complex modifiers, cement stone, prism strength, properties of concrete

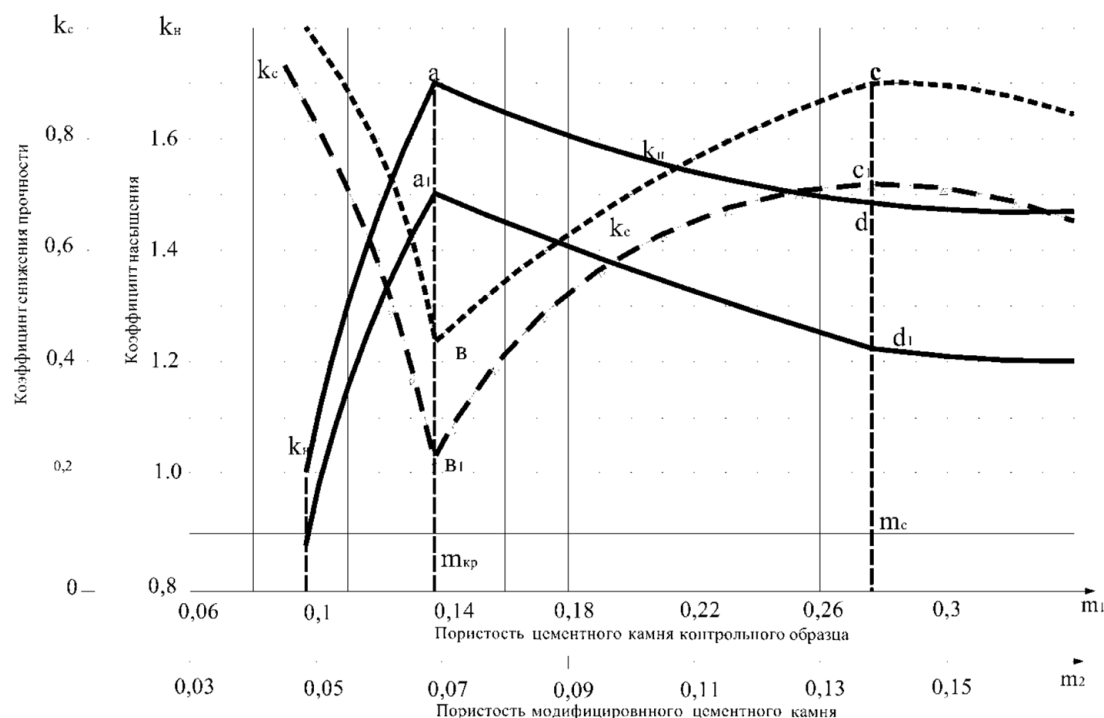
В строительной отрасли, в силу внедрения современных технологий новых строительных материалов и повышения качества строительства, начинают преобладать бетоны с повышенными прочностными характеристиками, а надежность стала главным фактором возводимых объектов.

При строительстве объектов предъявляются жесткие требования к таким важнейшим свойствам бетона, как морозо-, коррозионностойкость, водопоглощение, капиллярный подсос, водонепроницаемость, сохранность арматуры в бетоне и другим [6]. Данный подход продиктован прежде всего тем, что жилые комплексы, промышленные здания и сооружения, а также инженерные сети, как правило, работают в водонасыщенных, агрессивных, малоизученных грунтовых условиях.

Качество бетона и его работа в конструкциях и сооружениях определяются его свойствами. Важнейшее свойство материала – прочность. Модуль упругости, ползучесть, усадка такого композици-

онного материала, как бетон, зависят от деформативных характеристик его компонентов – цементного камня, растворной части и крупного заполнителя, а также от объемной концентрации каждого из них в составе бетона. Искусственный бетонный конгломерат состоит из двух различных по происхождению и свойствам пористых тел: цементного камня и заполнителя. В отличие от заполнителя, размеры пор в цементном камне могут изменяться в процессе твердения под влиянием адсорбционной влаги и внешних механических воздействий [2].

Вода, адсорбированная в микрокапиллярах пористых тел, обладает свойствами, отличными от гравитационной воды. Под влиянием силового поля твердых фаз изменяется плотность адсорбционно связанной воды, упругость паров и ее кристаллизационные параметры. Плотность адсорбированного мономолекулярного слоя воды на поверхности твердых фаз может колебаться от 1,6 до 2,45 г/см³.



Изменение коэффициентов k_n и k_c в зависимости от пористости цементного камня

Если капиллярно-пористое тело имеет значительное количество пор, соизмеримых с толщиной «аномальных» водных слоев, то при полном водонасыщении материала степень заполнения пор, определяемая как отношение объемного водопоглощения материала к объему его пор, может существенно превысить 100% (коэффициент насыщения). Коэффициент насыщения K_n косвенно отражает содержание в порах материала тонких слоев воды, оказывающих, как известно, расклинивающее давление на стенки пор и тем самым понижающих прочность твердых тел [1, 3, 4].

Под действием сжимающей силы, приложенной к водонасыщенному твердому телу, давление в жидкости, находящейся в его порах, определяется двумя независимыми слагаемыми:

- 1) поверхностным давлением, обусловленным внутренними электромолекулярными силами взаимодействия между поляризованными молекулами (диполями) жидкости и поверхностью твердого тела;
- 2) гидростатическим давлением, которое вызывается внешним воздействием, подчиняющимся законом гидростатики.

Если жидкость поглощена капиллярно-пористым телом, то поверхностное давление, оказывающее расклинивающее действие, наложится на гидростатиче-

ское давление, возникающее под влиянием внешней силы и будет препятствовать соприкосновению стенок пор и выжиманию жидкости из них.

Следовательно, внешняя сжимающая нагрузка, действующая на водонасыщенное пористое тело, будет восприниматься не только его твердой фазой, но и водой, которая, согласно закону Паскаля, окажет дополнительное давление на стенки пор в поперечном направлении образца. В связи с этим ускорится процесс деструкции, и материал исчерпает свою несущую способность при меньшей разрушающей нагрузке, чем в сухом образце. Таким образом, при определении предела прочности водонасыщенного материала проявляется суммарное влияние поверхностного и гидростатического давления, которое в совокупности можно квалифицировать как расклинивающее действие воды.

Характеристикой изменения прочности водонасыщенного материала служит коэффициент размягчения, который обоснованнее именовать коэффициентом снижения прочности водонасыщенного образца к естественно сухому.

Коэффициенты насыщения k_n цементного камня и снижения прочности k_c в зависимости от его пористости определяли на образцах 50х50х50 мм. До испытаний

все образцы твердели в нормально-влажностной среде в течение 70 суток в целях обеспечения более полного протекания физико-химических фазовых превращений. Момент затухания этих превращений прослеживался по изменению массы цементного камня. Высушенные до постоянной массы образцы насыщались водой под вакуумом 200 мм рт. ст. в течение 5–7 суток. Контрольные образцы испытывались на сжатие после высушивания до постоянной массы при 95–105 °С. Пористость определялась по значениям удельной и объемной массы. Для контроля объемная масса водонасыщенных образцов подсчитывалась по соотношению объемного $\omega_{об}$ и массового ω_m водонасыщения $\gamma_{об} = \frac{\omega_{об}}{\omega_m}$.

Из рисунка видно, что при уменьшении пористости цементного камня коэффициент насыщения возрастает до максимальной величины 1,66 при некотором критическом значении пористости $m_{кр} = 0,14$, а затем k_n резко уменьшается до 1,0 при $m = 0,1$. Следовательно, характерная точка *a* на кривой $k_n = f(m)$ свидетельствует о качественном скачке в кинетике водонасыщения цементного камня.

Полученный результат находит свое физическое объяснение в том, что при определенной плотности образцов происходит сближение силовых полей противоположных стенок капилляров до их взаимного наложения. Это снижает адсорбционную способность цементного камня и, следовательно, степень насыщения его водой. Значение k_n , близкое 1, может достигаться при уплотнении цементного теста интенсивными механическими воздействиями или применением гидрофобизирующих модификаторов бетона.

Кривая изменения прочности k_c имеет так же, как и кривая k_n , две характерные ветви. В интервале пористости m и $m_{кр}$, где последняя соответствует значению 1,65, коэффициент k_c возрастает от 0,44 до 0,84 (в точке *c*), а затем уменьшается при $x > 1,65$ в связи с качественным различием структуры цементного камня. С увеличением x до 1,65, определяющего предел связности (текучести) цементного теста, увеличение общей пористости сопровождается уменьшением относительного содержания микропор, в которых расклинивающее действие воды сказывается наиболее сильно, поэтому при достаточно высокой прочности скелета цементного камня коэффициент k_c возрастает.

При $x > 1,65$ структура цементного камня, формирующаяся на фоне цементной суспензии в результате седиментационно-

го процесса характеризуется случайными и слабыми кристаллизационными связями между отдельными структурными элементами (агрегатами твердой фазы). В связи с этим при относительно малой величине расклинивающего давления жидкости, возникающего в крупнопористой структуре цементного камня, значение коэффициента k_c также снижается.

Качественное изменение структуры цементного камня при $m \leq m_{кр}$ (точка *b*) сказывается на его прочности в водонасыщенном состоянии. С уменьшением пористости коэффициент k_c возрастает и достигает 1,0 при $m \approx 0,1$. Этот участок кривой характеризует изменение прочности цементного камня с очень плотной структурой, например при $m \approx 0,11$ значение коэффициента k_c соответствует значению k_c водонасыщенных изверженных горных пород.

В случае применения гидрофобизирующего модификатора в составе цементного камня коэффициент насыщения цементного камня и коэффициент снижения прочности уменьшается на 15–20 %.

Это объясняется тем, что гидрофобизирующие добавки не только флегматизируют процесс поэтапного накопления и укрупнения дефектов в цементных материалах (локализуют процесс разрушения), но и на определенных этапах эксплуатации (при действии мороза, воды) способствуют восстановлению структуры цементного камня вследствие процессов «самозалечивания», сращивания модифицированных продуктов гидратации в прочный цементный камень [7].

Также были проведены исследования характера пор в цементном камне с гидрофобизирующими комплексными модификаторами, результаты которых представлены в табл. 1. Размеры пор в исследуемых образцах определяли с помощью микроскопа МБС – 2 при увеличении от $\times 10$ до $\times 70$.

Анализ данных табл. 1 показывает улучшение капиллярно-пористой структуры цементного камня с гидрофобизирующими модификаторами ГКМ и ГКМ-А по сравнению со структурой цементного камня без добавок. Цементный камень с добавками имеет более плотную и однородную мелкопористую структуру с максимальным размером пор 500–600 мкм (в камне без добавки – 850 мкм). Поры с радиусом порядка 35–40 мкм, обеспечивают оптимальную микропористость для получения бетонов высокой прочности, плотности и морозостойкости. Таким образом, результаты исследования пористости показывают, что предлагаемые гидрофобизирующие модификаторы позволяют получить цементный камень высокого качества.

Таблица 1

Размеры пор и макропористость цементного камня

№ состава	Модификатор	Размеры макропор, мкм			Макропористость, %		
		максимум	минимум	преобладающие	максимум	минимум	преобладающая
1	Контрольный (без модификатора)	850	62	162	13,0	2,85	6,0
2	ГКМ	600	40,0	95,0	3,5	2,25	2,7
3	ГКМ-А	500	36,0	75	2,75	1,89	1,8

Таблица 2

Прочностные и деформативные свойства бетона

модификатор, % от массы цемента	Прочностные свойства, МПа			Деформативные свойства		
	кубиковая	призменная	на растяжение при изгибе	$\varepsilon_{полз} 10^{-5}$ мм/м	$\varepsilon_{ус} 10^{-5}$ мм/м	модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$, МПа
Контрольный состав	33,0	27,5	3,8	29,6	40	34,2
0,4ГПД	38,6	30,2	4,7	32,7	39	34,9
0,4 ГКМ (в виде прямой эмульсии)	39,4	32,5	5,2	31,30	38	35,1
модификатор 0,5ГКМ-А (в агломерированном виде)	40,5	32,9	5,4	33,6	38,5	35,4

Исследования деформативных свойств тяжёлых бетонов с комплексными гидрофобизирующими модификаторами проведены в соответствии с методическими рекомендациями НИИЖБа. Испытывали на осевое сжатие и растяжение при изгибе образцы-призмы размерами 10х10х40 см. Деформации определяли на каждой ступени нагружения при помощи электронного измерителя АИ-1.

Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Из результатов табл. 2 видно, что кубиковая и призменная прочность бетонов с модификаторами (составы 2–4) выше на 15–20%, чем у бетона без добавок. Гидрофобизирующие модификаторы способствуют снижению усадочных деформаций бетона, что совпадает с научными данными М.И. Хигеревича [5] о том, что гидрофобизирующие добавки позволяют уменьшить усадочные деформации и тем самым предупредить развитие опасных усадочных трещин и существенно улучшить гидрофизические свойства, повысить стойкость бетона к циклическим воздействиям мороза и тепла. Несколько повышенные деформации ползучести модифицированных бетонов с исследуемыми модификаторами можно объяснить тем, что ингредиенты ПАВ, адсорбируясь на поверхности растущих

кристаллов гидросиликатов, способствуют образованию микрокристаллической структуры цементного камня, которая, как известно, способствует увеличению ползучести бетона [7, 5]. В таком состоянии ПАВ в цементных системах, названные «вкрапленниками», улучшают не только подвижность бетонной смеси, но и основные физико-механические свойства бетона, снижают капиллярный подсос, водопоглощение, повышают водостойкость, морозо- и коррозионную стойкость.

Список литературы

1. Воронин В.В., Стенечкина К.С. Цементные бетоны с гидроактивированными суперпластификаторами // Научное обозрение. – 2015. – № 12. – С. 73–78.
2. Ляпидевская О.Б., Фрайнт М.А. Фотокалитический бетон для дорожного строительства // Вестник МГСУ. – 2014. – № 2. – С. 125–130.
3. Соловьев В.И., Ткач Е.В., Серова Р.Ф., Тоимбаева Б.М., Сейдинова Г.А. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органико-минеральными модификаторами // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8 (часть 3). – С. 590–595.
4. Стенечкина К.С., Алимов Л.А., Александрова О.В. Кинетика твердения бетонов, легированных наномодификаторами // Научное обозрение. – 2015. – № 14. – С. 181–187.
5. Ткач Е.В. Комплексное гидрофобизирующее модифицирование бетонов: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГСУ, 2011. – 232 с.
6. Ткач Е.В., Семенов В.С., Ткач С.А. Высокоэффективные модифицированные гидрофобизированные бетоны

с улучшенными физико-техническими свойствами // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12–16 мая 2014 г.): Т. 5. – С. 113–123.

7. Ткач Е.В., Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Грибова В.С. Высокоэффективные химические модификаторы для получения бетонов заданных свойств // Вестник МГСУ. – 2012. – № 3. – С. 216–230.

References

1. Voronin V.V., Stenechkina K.S. Cementnye betony s gidroaktivirovannymi su-perplastifikatorami // Nauchnoe obozrenie. 2015. no. 12. pp. 73–78.

2. Ljapidevskaja O.B., Frajnt M.A. Fotokataliticheskij beton dlja dorozhnogo stroi-telstva // Vestnik MGSU. 2014. no. 2. pp. 125–130.

3. Solovev V.I., Tkach E.V., Serova R.F., Toimbaeva B.M., Sejdinova G.A. Issledovanie poristosti cementnogo kamnja,

modificirovannogo kompleksnymi organo-mineralnymi modifikatorami // Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 8 (chast 3). pp. 590–595.

4. Stenechkina K.S., Alimov L.A., Aleksandrova O.V. Kinetika tverdenija betonov, legirovannyh nanomodifikatorami // Nauchnoe obozrenie. 2015. no. 14. pp. 181–187.

5. Tkach E.V. Kompleksnoe gidrofobizirujushhee modifirovanie betonov: monogra-fija. M.: FGBOU VPO MGSU, 2011. 232 p.

6. Tkach E.V., Semenov V.S., Tkach S.A. Vysokojeffektivnye modificirovannye gid-rofobizirovannye betony s uchshennymi fiziko-tehnicheskimi svojstvami // Beton i zhelezobeton vzgljad v budushhee: nauchnye trudy III Vserossijskoj (II Mezhdunarodnoj) konferencii po betonu i zhelezobetonu (Moskva, 12–16 maja 2014 g.): T. 5. pp. 113–123.

7. Tkach E.V., Rahimov M.A., Rahimova G.M., Gribova V.S. Vysokojeffektivnye himi-cheskie modifikatory dlja poluchenija betonov zadannyh svojstv // Vestnik MGSU. 2012. no. 3. pp. 216–230.