Разработанная нами математическая модель позволяет проводить вычислительные эксперименты, результаты которых создают основу для формирования информационной базы для принятия более обоснованных проектных решений, обеспечивающих необходимые теплозащитные качества и долговечность ограждающих конструкций.

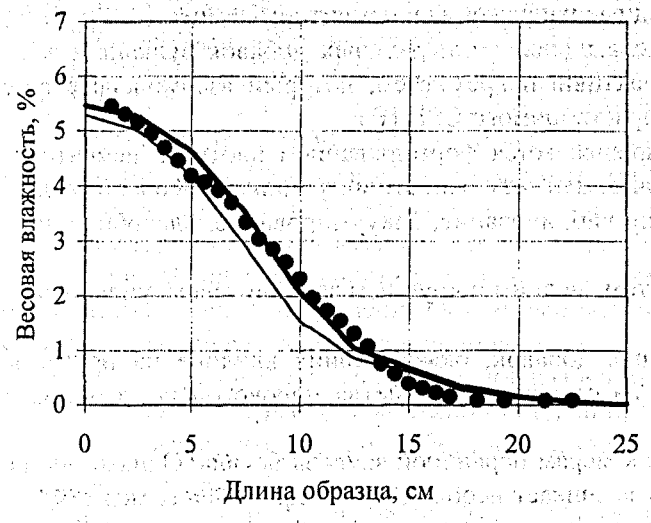

Рисунок 7 – Распределение влаги по длине образца по опытным данным ••••• и вычисленным при коэффициенте к=1 — —, к=0.7 —— на восьмидесятый день

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Никитин В.И., Ракецкий В.М., Лапко А., Прусел И.А. Имитация тепло- и влагопереноса в теплоизоляционных материалах // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2001. – №2(8). – С. 56-60.
2. Künzel H.M. Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters // IRB Verlag Suttgart, – 1995. – 66 s.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: Стройиздат. – 1973. – 287 с.
4. Krus M. Hygrothermal calculations applied to water-repellent surfaces – validation and application. // ETH Zürich, – 1998. – s. 169-176.

УДК 666.97.058

Кузьменков М.И., Трахимчик О.Е., Марковка Д.М.

НОВЫЙ ПРОПИТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ «СИФТОМ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА

Сооружения из бетона и железобетона, как из всякого другого материала, со временем подвергаются разрушению. В этой связи актуальной проблемой является обеспечение проектной долговечности железобетонных конструкций.

В условиях эксплуатации на цементный камень действуют: природные воды под давлением или просто омывающие сооружения, промышленные и бытовые стоки, периодически и многократно повторяющиеся теплосмены (сезонные и дневные колебания температур), процессы увлажнения и высыхания (колебания атмосферной влажности, специфические условия службы). Кроме того, влияют механические воздействия — удары волн, выветривание, истирание, а также биологические — вредные воздействия бактерий. Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации имеет место воздействие не одного какого-либо фактора, а их различное сочетание: например, дорожные покрытия подвергаются одновременно воздействию воды, солей-антиобледенителей, мороза; на аэродромные покрытия дополнительно воздействуют высокотемпературные газодинамические потоки от двигателей самолетов; морские гидротехнические сооружения работают в условиях воздействия высококонцентрированных растворов сульфатов и хлоридов, попеременного увлажнения и высушивания. В этой связи проблема повышения долговечности бетона крайне сложна.

В настоящее время разработан ряд мероприятий обеспечивающих снижение агрессивного воздействия на бетон, основными из которых являются:

- применение специальных цементов с относительно малым содержанием алита, трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита. Алит при гидратации выделяет большое количество $Ca(OH)_2$, который при фильтрации воды легко вымывается или вступает в реакции замещения. Алюминаты и алюмоферриты кальция при наличии в воде сульфат-иона становятся источником образования эттрингита, вызывающего вредные напряжения в цементном камне;
- введение в состав цемента при помоле клинкера кислых минеральных добавок вулканического или осадочного происхождения, содержащих активный кремнезем, который взаимодействует с выделяющимся $Ca(OH)_2$ с образованием труднорастворимого CSH (B);
- повышение тонкости помола цемента, что сопровождается формированием плотного цементного камня с высокой водонепроницаемостью, исключающей возможность миграции агрессивной среды;
- хорошее уплотнение бетонной массы, применяя вибрирование, вакуумирование, адсорбционную опалубку;
- правильный подбор соотношения между цементом, мелким и крупным заполнителем, уменьшение водоцементного отношения;
- введение в состав бетонной смеси специальных добавок, оказывающих влияние на процессы структурообразования бетона и прежде всего на строение и свойства порового пространства и проницаемость.

Вышеперечисленные мероприятия относятся к мерам первичной защиты бетона. Однако они не всегда приводят к желаемому результату. Поэтому возникает необходимость применения мер вторичной защиты, которые предполагают поверхностную обработку (пропитку) сформировавшегося бетона различными составами, изменяющими физико-химические и физико-механические свойства цементного камня и бетона. В настоящее время для указанной цели предлагается целый ряд реагентов, начиная с растительных масел и заканчивая растворами и эмульсиями на основе неорганических и органических соединений. В частности, это пропиточные составы импортного производства: CHEM-CRETE CCC100 и CHEM-CRETE CCC1000 (фирма CHEM-CRETE, США), SikaGard 700S, SikaGard 702W и SikaFerroGard 903 (фирма Sika, Швейцария), ПЕНЕКО ЭКСТРА R и ГИДРОФОБ (фирма СТАХЕМА, Словакия), BURKE-O-LITH (фирма BURKE, США) и другие и отечественного производства: САК (ДУП «Мадикор» РУП «БелдорНИИ»), СТРОП (ООО «Полихим»), АУТОКРИН-177 (НПО «Алкид»), ГРУНТОВКА ГИДРОФОБИЗИРУЮЩАЯ Г-88 (ЗАО «Парад») и другие. Однако, указанные пропиточные композиции широкого распространения не получили по одной из нижеследующих причин: дефицитность, высокая стоимость, токсичность.

Одним из эффективных способов поверхностной обработки бетона является флюатирование — пропитка изделий растворами гексафторсиликатов магния, кальция, цинка и других металлов (флюаты). Водный раствор флюата, нанесенный на поверхность бетона, проникает по порам внутрь камня и взаимодействует с гидроксидом и карбонатом кальция. В результате протекающих реакций, образуются не растворимые соединения CaF_2, MgF_2 и SiO_2 в порах, которые заполняют их и предотвращают проникновение агрессивных сред внутрь бетона. Однако и это направление практического применения не нашло, из-за отсутствия в странах СНГ, в том числе и в Республике Беларусь, производства флюатов.

На кафедре химической технологии вяжущих материалов Белорусского государственного технологического университета проведены лабораторные исследования по синтезу гексафторсиликата магния, оптимизированы технологические параметры и разработан технологический процесс его получения. Полученные результаты переданы на ОАО «Гомельский химический завод», где в апреле 2003 года выпущена опытная партия продукта, который прошел испытания в лаборатории минеральных вяжущих РУП «БелдорНИИ».

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубы с размером ребра 70 мм из бетонной смеси состава, кг/м^3: цемент – 350, щебень фракции 5 .20 мм – 1220, песок с модулем крупности 2,4 – 750, вода – 155. В бетонную смесь вводили пластификатор С-3 в количестве 0,7 % от массы цемента. Образцы подвергали тепловлажностной обработке и до достижения ими возраста 28 суток хранили в ванне с гидравлическим затвором в нормальных условиях по ГОСТ 10180-90.

Непосредственно перед обработкой антикоррозионным составом, разработанным на основе гексафторсиликата магния и названным нами «Сифтом», производили подготовку образцов, включающую обезжиривание, очистку проволочной щеткой и обеспыливание поверхностей граней путем промывки под струей воды, а также высушивание в сушильном шкафу при температуре 80±5 °С в течение одних суток.

В связи с отсутствием стандартизированных методов испытаний пропиточных составов для антикоррозионной защиты бетона в качестве контрольных для оценки эффективности защитных свойств состава «Сифтом» использовались бетонные образцы без пропитки и образцы, пропитанные материалом-аналогом Burke-0-Lith, представляющего собой раствор гексафторсиликата магния и (или) цинка в воде.

Рабочую концентрацию растворов состава «Сифтом» назначали 5, 7, 10, 15, 20 и 25 %.

Из материала Burke-0-Lith готовили рабочие растворы при соотношении (по объему) Вода : Burke-O-Lith = 3:1, 2:1 и 1:1 в соответствии с рекомендациями фирмы «Burke».

Обработку (пропитку) образцов производили кистью в 2-3 приема, начиная с раствора минимальной концентрации, с интервалом в 1 сутки. Обработанные образцы перед испытанием хранили в течение 7..14 суток на воздухе при температуре 20..25 °С и относительной влажности воздуха 50..70 %, после чего высушивали до постоянной массы при температуре 50..60 °С.

Оценку защитных свойств растворов «Сифтом» и Burke-O-Lith проводили комплексно по величине и изменению во времени показателей водопоглощения образцов при погружении в воду, капиллярного водонасыщения, водонепроницаемости, прочности при водонасыщении, испытаниях на циклы замораживания-оттаивания и водонасыщения-высушивания.

Испытания бетона на водонепроницаемость проводили по ГОСТ 12730.5-84. Полученные результаты показали, что обработка бетона раствором «Сифтом» позволяет повысить его водонепроницаемость не менее чем в 2 раза.

Результаты испытаний на морозостойкость, приведенные в табл. 1, показали, что после 300 циклов попеременного замораживания-оттаивания прочность образцов бетона, обработанных раствором «Сифтом», возросла на 5,5÷36,2 % в то время, как контрольные образцы снизили прочность на 8,3 %. При этом максимальный прирост прочности характерен для образцов, обработанных по режимам № 2, 3, 5 и 6, что обеспечило рост морозостойкости бетона в 1,2÷1,5 раза.

Полученные результаты позволяют предположить, что наблюдаемый прирост прочности образцов в процессе испытаний может быть связан с одной стороны с уплотнением структуры бетона продуктами гидратации цемента и их реакции с гексафторсиликатом магния с образованием водонерастворимых фторидов кальция и магния и кремнегеля, с другой стороны с кристаллизацией солей в порах бетона.

Испытания образцов на капиллярное водонасыщение проводили по ГОСТ 23558–94. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Из результатов испытаний, приведенных в табл. 2, следует, что при увлажнении бетона посредством капиллярного подсоса в процессе наблюдений в течение 4 суток отмечено снижение водонасыщения образцов, обработанных по всем режимам. При этом, максимальный эффект в снижении капиллярного водонасыщения, равный 40..69 %, в течение четырех суток характерен для образцов бетона, обработанных по режимам № 3, 4 и 5.

Для оценки эффективности защитных свойств пропиточного состава «Сифтом» проведены комплексные сравнительные испытания образцов бетона, обработанных материалом-аналогом Burke-0-Lith.

Показатели водопоглощения образцов при погружении в воду приведены в табл. 3.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что в том случае, когда бетон постоянно находится в воде, защита обеспечивается в течение до 4 ч раствором «Сифтом». В сравнении с контрольными образцами величина водопоглощения бетона через 0,5 и 4 часа снизилась соответственно на 59,0, 18,1 и 3,1 %. У образцов, обработанных Burke-0-Lith, водопоглощение несколько выше, чем у контрольных.

При увлажнении бетона за счет капиллярного подсоса и по уровню эффективности защиты материал Burke-0-Lith также несколько уступает пропиточному составу «Сифтом». При этом при однократном капиллярном водонасыщении образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами, снижение водонасыщения у образцов, обработанных раствором «Сифтом» незначительно и составляет от 3,2 до 7,6 % в течение 1..6 суток испытаний (табл. 4).

Последующее выдерживание капиллярно насыщенных образцов, обработанных антикоррозионными составами, на воздухе в течение 14 суток и повторное их водонасыщение показало значительное увеличение защитного эффекта.

Из табл. 5 видно, что в сравнении с контрольными (без пропитки), у образцов, обработанных растворами «Сифтом» и Burke-0-Lith, наблюдается стабильное снижение водонасыщения в течение 1, 4 суток испытаний, которое составило соответственно 37,7÷47,8 % и 21,6÷35,1 %.

Таблица 1 – Морозостойкость образцов бетона, пропитанных раствором «Сифтом» различной концентрации и кратности обработки

№ режима обработки образцов	Кратность пропитки и концентрация раствора, %	Прочность на сжатие, МПа				Потеря прочности, %	K^F
		до замораживания		после 300 циклов замораживания - оттаивания			
		R_i	$R_{ср}$	R_i	$R_{ср}$		
1	Контрольные образцы без пропитки	30,0 23,0	26,5	25,8 22,7	24,3	- 8,3	0,92
2	1 – 5 % 2 – 7 % 3 – 10 %	20,7 25,4	23,5	27,8 29,1	28,5	+ 21,3	1,21
3	1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 15 %	21,5		29,2 26,6	27,9	+ 18,7	1,19
4	1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	26,1 24,4		24,3 25,2	24,8	+ 5,5	1,06
5	1 – 5 % 2 – 10 %	22,5 24,0		30,2 33,8	32,0	+ 36,2	1,36
6	1 – 5 % 2 – 15 %	22,8		28,9 32,9	30,9	+ 31,5	1,35
7	1 – 10 % 2 – 25 %	23,7		27,6 27,2	27,4	+ 16,6	1,16

Таблица 2 – Капиллярное водонасыщение образцов бетона, пропитанных раствором «Сифтом» различной концентрации и кратности обработки

№ режима обработки образцов	Кратность пропитки и концентрация раствора, %	Капиллярное водонасыщение, % массы, через			
		1 сут	2 сут	3 сут	4 сут
1	Контрольные образцы без пропитки	1,21	1,60	1,87	2,10
2	1 – 5 % 2 – 7 % 3 – 10 %	1,02	1,41	1,66	1,84
3	1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 15 %	0,65	1,07	1,36	1,58
4	1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	0,52	0,80	1,03	1,26
5	1 – 5 % 2 – 10 %	0,99	1,33	1,44	—
6	1 – 5 % 2 – 15 %	1,07	1,43	1,57	—
7	1 – 10 % 2 – 25 %	1,06	1,50	1,58	—

Таблица 3 – Водопоглощение образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами

Антикоррозионный состав	Водопоглощение, % массы, через						
	0,5 ч	1 ч	4 ч	1 сут	2 сут	3 сут	6 сут
Контрольные образцы без пропитки	1,86	2,22	3,15	3,84	3,87	3,90	3,98
Сифтом 1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	1,17	1,51	2,58	3,72	3,79	3,83	3,89
Burke – O – Lith 1 – 3:1 2 – 2:1 3 – 1:1	1,84	2,27	3,36	3,95	3,99	4,01	4,07

Таблица 4 – Капиллярное водонасыщение образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами

Антикоррозионный состав	Капиллярное водонасыщение, % массы, через			
	1 сут	2 сут	3 сут	6 сут
Контрольные образцы без пропитки	1,56	2,01	2,29	2,66
Сифтом 1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	1,51	1,94	2,18	2,47
Burke – O – Lith 1 – 3:1 2 – 2:1 3 – 1:1	1,77	2,29	2,59	2,89

Таблица 5 – Капиллярное водонасыщение образцов бетона (повторно), пропитанных антикоррозионными составами, после 6 сут. водонасыщения и последующего выдерживания на воздухе в течение 14 сут.

Антикоррозионный состав	Капиллярное водонасыщение, % массы, через			
	1 сут	2 сут	3 сут	4 сут
Контрольные образцы без пропитки	1,02	1,34	1,50	1,62
Сифтом 1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	0,54	0,70	0,79	1,01
Burke – O – Lith 1 – 3:1 2 – 2:1 3 – 1:1	0,68	0,87	1,14	1,27

Данные результаты могут быть связаны с медленно протекающими во времени процессами уплотнения структуры бетона за счет реакции основных компонентов, входящих в состав пропиточных растворов «Сифтом» и Burke-0-Lith с продуктами гидратации цемента. При этом, в рамках проведенного эксперимента, эффективность противодействия капиллярному водонасыщению у бетона, обработанного раствором «Сифтом» в 1,1÷2,2 раза выше, чем у Burke-0-Lith.

Из табл. 6 следует, что в рамках проведенных исследований у образцов бетона, обработанного антикоррозионными составами, наблюдается повышение морозостойкости, устойчивости к циклам водонасыщения-высушивания в сравнении с контрольными образцами, которые к моменту завершения испытаний имеют тенденцию к разрушению, характеризующимся начальным шелушением и потерей прочности. Коэффициенты морозостойкости (K_p) после 300 и 400 циклов замораживания-оттаивания и водостойкости (K_{w-c}) образцов, обработанных растворами «Сифтом» и Burke-0-Lith, выше, чем контрольных и близки между собой.

Совокупность изученных свойств позволяет полагать, что предлагаемое средство защиты бетона и железобетона «Сифтом», является достаточно эффективным и целесообразным использовать на практике.

На ОАО «Гомельский химический завод» в настоящее время проводятся мероприятия по организации производства гексафторсиликата магния как в порошкообразном виде, так и в виде раствора и пропиточного состава на его основе «Сифтом».

Таблица 6 – Прочность, водо- и морозостойкость образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами

Антикоррозионный состав	Прочность образцов, МПа				Коэффициенты		
	сухих	водонасыщенных	после замораживания-оттаивания, F300	после 10 циклов водонасыщения-высушивания (w-c)	K_p	K_F	K_{w-c}
Контрольные образцы без пропитки	35,5	26,8	26,7	27,2	0,75	1,00	1,01
Сифтом 1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	35,8	27,2	27,4	30,0	0,76	1,01	1,10
Burke – O – Lith 1 – 3:1 2 – 2:1 3 – 1:1	38,1	27,4	27,3	31,1	0,72	1,00	1,13
Повторно после капиллярного водонасыщения образцов в течение 6 суток и последующего выдерживания на воздухе в течение 14 суток							
Контрольные образцы без пропитки	—	—	26,8	24,9**	0,93**		
Сифтом 1 – 5 % 2 – 10 % 3 – 25 %	—	—	27,2	28,9**	1,06**		
Burke – O – Lith 1 – 3:1 2 – 2:1 3 – 1:1	—	—	27,5	28,4**	1,03**		
** Морозостойкость F400							

УДК 666.97.546

Левчук Н.В., Добрунова В.М.

ВЛИЯНИЕ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА КРЕМНЕЗЕМА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ РАСТВОРОВ

Анализ литературных источников в области модификации портландцементных систем показал, что на современном этапе развития этой отрасли строительных материалов практически отсутствуют исследования по модификации минеральных вяжущих на уровне образования коагуляционных структур.

Для получения бетонов с плотной структурой и наивысшей стойкостью к агрессивным агентам в цемент вводят добавки, которые не обладают вяжущими свойствами, но которые вступают в химические реакции с гидроксидом кальция с образованием силикатов. Как известно, реакции трехкальциевого силиката с водой имеют существенное значение, так как алит – главный источник механической прочности затвердевших цементов и его гидролиз является наиболее характерным процессом, который сопровождается схватыванием и твердением. Первым отщепляется гидроксид кальция, в результате чего и образуется гидросиликат кальция. Гидроксид кальция, образовавшийся при гидратации свободной извести, которого должно быть не более 1%, или гидролитический, получающийся в результате гидратации силикатов, осаждается первоначально в виде тонкокристаллической модификации. Образование крупнокристаллического гидроксида кальция в затвердевших цементах вредно отражается на