

Кузьменков М. И., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химическая технология вяжущих материалов»

Хотянович О. Е., кандидат технических наук, ассистент кафедры «Химическая технология вяжущих материалов»
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ И ВТОРИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Разработан высокоэффективный состав на основе гексафторсиликата магния для первичной и вторичной обработки бетонных и железобетонных изделий с целью увеличения их долговечности. Состав на основе гексафторсиликата магния обеспечивает повышение прочности бетона на сжатие, морозостойкости и водонепроницаемости, снижение его карбонизации и хлоридопроницаемости. Разработанный состав по эффективности действия не уступает зарубежным аналогам, в частности Burke-O-Lith (США).

HIGH EFFECTIVE COMPOSITION FOR THE PRIMARY AND SECONDARY PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

This article deals with the developing of impregnation solution on basis of hexafluorosilicate of magnesium for treatment of concrete and ferroconcrete products to improve their durability. Estimation of the protective properties of solutions was conducted fully by volume and time variation of the following characteristics: capillary water saturation, water impermeability, water saturation strength, strength during water saturation-drying and freeze-thawing tests. The developed solution is highly competitive with their american analogue «Burke-O-Lith» (USA).

В ряду важнейших проблем строительной отрасли особое место занимает задача повышения эксплуатационной надежности и долговечности бетонных и 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

ния и высыхания (колебания атмосферной влажности, специфические условия службы). Кроме того, влияют механические воздействия – удары волн, выветривание, истирание, а также биологические – вредные воздействия бактерий.

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;

- введение в состав цемента при помоле клинкера кислых минеральных добавок вулканического или осадочного происхождения, содержащих активный кремнезем;

- повышение тонкости помола цемента;

- хорошее уплотнение бетонной массы и другие.

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 [1].

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: СНЕМ-CRETE CCC100 и СНЕМ-CRETE CCC1000 (фирма СНЕМ-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 отечественного производства: САК (ДУП «Мадикор» РУП «Белдор-

НИИ»), Строп (ООО «Полихим»), Аутокрин-177 (НПО «Алкид»), грунтовка гидрофобизирующая Г-88 (ЗАО «Парад») и другие [2, 3]. Однако, указанные пропиточные композиции широкого распространения не получили из-за дефицитности, высокой стоимости или токсичности.

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 нерастворимые 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 «Химическая технология вяжущих материалов» Белорусского государственного технологического университета проведены лабораторные исследования по синтезу гексафторсиликата магния, оптимизированы технологические параметры и разработан технологический процесс его получения. Успешное решение первого этапа работы (разработана технология получения гексафторсиликата магния) позволило решить другую задачу – разработать пропиточный состав на основе гексафторсиликата магния для повышения эксплуатационных свойств бетона.

При разработке пропиточного состава на основе MgSiF_6 проводили оценку защитных свойств комплексно по величине и изменению во времени показателей капиллярного водонасыщения, водопоглощения, прочности на сжатие и изгиб, морозостойкости и атмосферостойкости.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубы с размером ребра 70 мм из бетонной смеси состава, кг/м³:

| | |
|-------------------------------|---------|
| 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. Непосредственно перед обработкой пропиточными составами 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 $70 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение одних суток.

На первом этапе работы была проведена серия экспериментов по оптимизации режима поверхностной обработки бетона водным раствором гексафторсиликата магния, т.е. определена кратность пропитки и концентрация раствора MgSiF_6 для каждого слоя.

Концентрация гексафторсиликата магния в растворе варьировалась в диапазоне от 5 до 25 мас.%. Более концентрированные растворы не применялись, поскольку при содержании MgSiF_6 выше 25 мас.% образуется пересыщенный раствор. Нижний концентрационный предел обусловлен тем, что, как показали предварительные испытания, эффект защиты такими растворами незначителен. При 2-х и 3-х кратной пропитке бетонных образцов обработка проводилась, начиная с раствора меньшей вязкости, что способствовало более глубокому проникновению пропиточного состава.

Результаты определения водопоглощения и капиллярного водонасыщения образцов бетона, пропитанных раствором гексафторсиликата магния различной концентрации и кратности обработки, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Водопоглощение и капиллярное водонасыщение образцов бетона, пропитанных раствором гексафторсиликата магния

| № режима обработки образцов | Кратность пропитки и концентрация раствора, % | Водопоглощение, %, через, сут | | | | Капиллярное водонасыщение %, через сут | | | |
|-----------------------------|---|-------------------------------|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Контрольные образцы (без пропитки) | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,1 |
| 2 | 1 - 5; 2 - 7; 3 - 10 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 1,8 |
| 3 | 1 - 5; 2 - 10; 3 - 15 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 0,7 | 1,1 | 1,4 | 1,6 |
| 4 | 1 - 5; 2 - 10; 3 - 25 | 3,4 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 1,1 | 1,4 | 1,6 | 1,6 |
| 5 | 1 - 5; 2 - 10 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| 6 | 1 - 5; 2 - 15 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,3 |
| 7 | 1 - 10; 2 - 25 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 1,1 | 1,5 | 1,6 | 1,7 |

Из представленных результатов видно, при увлажнении бетона посредством капиллярного подсоса в процессе наблюдений отмечено снижение водонасыщения образцов, обработанных по всем режимам. При этом, максимальный эффект в снижении капиллярного водонасыщения, равный 24–58% в течение четырех суток, характерен для образцов бетона, обработанных по режимам № 3, 5 и 6. Однако водопоглощение образцов бетона, пропитанных по всем режимам, снизилось незначительно, а для отдельных образцов значения этого показателя даже превысили контрольные.

Результаты испытаний на морозостойкость (табл. 2), показали, что после 300 циклов попеременного замораживания-оттаивания прочность образцов бетона, обработанных раствором гексафторсиликата магния, возросла на 5,0–30,0%, в то время как прочность контрольных образцов снизилась на 8,3%. При этом максимальный прирост прочности характерен для образцов, обработанных по режимам № 2, 5 и 6.

Таблица 2

**Прочность на сжатие образцов бетона,
пропитанных раствором гексафторсиликата магния**

| № режима обработки образцов | Кратность пропитки и концентрация раствора, % | Прочность на сжатие, МПа | | Потеря (прирост) прочности, % |
|-----------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------------|
| | | до замораживания | после 300 циклов замораживания-оттаивания | |
| 1 | Контрольные образцы (без пропитки) | 37,4 | 34,3 | - 8,3 |
| 2 | 1 – 5; 2 – 7; 3 – 10 | 40,4 | 48,9 | + 21,0 |
| 3 | 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15 | 39,8 | 47,6 | + 19,6 |
| 4 | 1 – 5; 2 – 10; 3 – 25 | 44,2 | 46,6 | + 5,4 |
| 5 | 1 – 5; 2 – 10 | 41,6 | 52,5 | + 26,2 |
| 6 | 1 – 5; 2 – 15 | 44,9 | 58,4 | + 30,1 |
| 7 | 1 – 10; 2 – 25 | 42,1 | 48,7 | + 15,7 |

Таким образом, оптимальным режимом обработки бетона является его пропитка в два приема с концентрацией гексафторсиликата магния 5 мас.% и 15 мас.%. Разработанный пропиточный состав получил техническое название «Сифтом».

В настоящее время для антикоррозионной защиты наиболее ответственных бетонных и железобетонных конструкций используется пропиточный состав «Burke-0-Lith» производства американской фирмы «Burke», который в настоящее время является монопольным продуктом этого класса на строительном рынке СНГ. Действующим веществом в нем является гексафторсиликат магния. Для оценки эффективности защитных свойств пропиточного состава «Сифтом» проведены комплексные сравнительные испытания образцов бетона, обработанных раствором «Burke-0-Lith».

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

Таблица 3

**Водопоглощение образцов бетона,
пропитанных антикоррозионными составами**

| Антикоррозионный состав | Водопоглощение, %, через | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,5 ч | 1,0 ч | 4,0 ч | 1 сут | 2 сут | 3 сут | 6 сут |
| Контрольные образцы (без пропитки) | 1,9 | 2,2 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,4 |
| Сифтом | 1,2 | 1,5 | 2,5 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,1 |
| Burke-O-Lith | 1,3 | 1,5 | 2,4 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,2 |

Видно, что через 0,5–4 часа после пропитки бетона раствором «Сифтом» в сравнении с контрольными образцами достигается снижение водопоглощения на 36,8 и 16,7% соответственно. У образцов, обработанных «Burke-0-Lith», водопоглощение находится на уровне пропиточного состава «Сифтом».

Полученные результаты объясняются, прежде всего тем, что в результате возникающих диффузионных процессов гексафторсиликат магния перемещается с поверхности бетонного образца вглубь капилляров, пустот и микротрещин в бетонном массиве, где в результате взаимодействия с гидроксидом и карбонатом кальция образуются нерастворимые соединения. Внутрикапиллярное кристаллообразование уплотняет структуру бетона, т.е. обеспечивается кольматация порового пространства, что препятствует фильтрации воды и растворов.

Для изучения природы новообразований было проведено рентгенографическое исследование цементного камня, обработанного пропиточным составом «Сифтом» и контрольного (непропитанного) образца. На рентгенограмме последнего присутствуют пики ($d=4,90$; $2,63$; $1,93$; $1,80$ Е) соответствующие $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в то время как у пропитанного раствором «Сифтом» они не наблюдаются, однако появляются рефлексы характерные для MgF_2 ($d=3,27$; $1,71$; $1,38$ Е) и CaF_2 ($d=3,15$; $1,93$; $1,65$ Е).

Таким образом, установлено, что в результате обработки цементного камня пропиточным составом «Сифтом», водорастворимый гидроксид кальция взаимодействует с гексафторсиликатом магния с образованием водонерастворимых фторидов магния и кальция.

При увлажнении бетона за счет капиллярного подсоса (табл. 4) раствор «Сифтом» также не уступает пропиточному составу «Burke-0-Lith».

При однократном капиллярном водонасыщении образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами, снижение водонасыщения у образцов, обработанных раствором «Сифтом» составляет от 58,3 до 37,5% в течение 1–6 суток испытаний.

Таблица 4

Капиллярное водонасыщение образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами

| Антикоррозионный состав | Капиллярное водонасыщение, %, через, сут | | | |
|------------------------------------|--|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 6 |
| Контрольные образцы (без пропитки) | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,4 |
| Сифтом | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,5 |
| Burke-O-Lith | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,6 |

Последующее выдерживание на воздухе в течение 14 суток капиллярно насыщенных образцов, обработанных антикоррозионными составами, и повторное их водонасыщение (табл. 5) показало значительное увеличение защитного эффекта.

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, %, через, сут | | | |
|------------------------------------|--|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 6 |
| Контрольные образцы (без пропитки) | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,6 |
| Сифтом | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |
| Burke-0-Lith | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 |

Видно, что в сравнении с контрольными (без пропитки), у образцов, обработанных антикоррозионными составами, наблюдается стабильное снижение водонасыщения в течение 1–6 суток испытаний, которое составило 55,6–60,0% для «Сифтом» и 50,0–52,0% для «Burke-0-Lith». Предположительно это может быть связано 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. Как и следовало ожидать, уплотнение структуры бетона сопровождается повышением морозостойкости и прочности при сжатии (табл. 6 и табл. 7).

Из табл. 6 и табл. 7 видно, что 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 (KF) после 300, 400 и 500 циклов замораживания-оттаивания и водостойкости (KW-C) образцов, обработанных растворами «Сифтом» и «Burke-0-Lith», выше, чем контрольных и близки между собой.

Наблюдаемый прирост прочности образцов обусловлен с одной стороны уплотнением структуры бетона продуктами реакции гексафторсиликата магния и гидроксида кальция, образующимся в результате гидролиза и гидратации цемента, которые представляют собой водонерастворимые фториды кальция и магния и кремнегель, с другой стороны – с кристаллизацией солей в порах бетона. Таким образом, обработка пропиточными составами оказывает существенное влияние на морозостойкость бетона.

**Прочность, водо- и морозостойкость образцов бетона,
пропитанных антикоррозионными составами**

| Антикоррозионный состав | Прочность образцов, МПа | | | | Коэффициенты | | |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|---|----------------|-------------------|------------------|
| | Сухих | Водо-насыщенных | После замораживания-оттаивания | после 10 циклов водонасыщения-высушивания (w-c) | K _p | K _F | K _{w-c} |
| Контрольные образцы (без пропитки) | 37,4 | 32,8 | 32,7* (26,3**) | 33,3 | 0,88 | 1,00* (0,80**) | 1,02 |
| Сифтом | 42,2 | 38,3 | 53,3* (47,6**) | 42,2 | 0,91 | 1,39* (1,24**) | 1,10 |
| Burke-O-Lith | 42,8 | 38,9 | 53,0* (48,0**) | 43,9 | 0,91 | 1,36* (1,23**) | 1,13 |

* Морозостойкость F300

** Морозостойкость F400

Таблица 7

**Прочность на сжатие образцов бетона, пропитанных
антикоррозионными составами,
после 500 циклов замораживания-оттаивания**

| Антикоррозионный состав | Прочность на сжатие, МПа | | K _F | Примечание |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|---|
| | до замораживания | после замораживания | | |
| Контрольные образцы (без пропитки) | 32,8 | 24,1 | 0,73 | начальное шелушение образцов наблюдается после 300 циклов |
| Сифтом | 38,3 | 45,7 | 1,19 | начальное шелушение образцов наблюдается после 400 циклов |
| Burke-O-Lith | 38,9 | 46,2 | 1,19 | -//- |

С целью определения эффективности защиты пропиточными составами бетона, бывшего в эксплуатации, свежеприготовленные образцы были искусственно «состарены», после чего испытаны на водопоглощение, прочность на сжатие и изгиб (табл. 8).

Таблица 8

**Свойства бетона, пропитанного антикоррозионными составами
после 50 циклов атмосферостойкости**

| Антикоррозионный состав | Водопоглощение, %, через ч | | | | | Прочность, МПа | |
|------------------------------------|----------------------------|-----|-----|------|------|----------------|-----------|
| | 0,5 | 1,0 | 4,0 | 24,0 | 48,0 | на изгиб | на сжатие |
| Контрольные образцы (без пропитки) | 0,5 | 0,7 | 1,5 | 2,7 | 2,8 | 5,8 | 34,8 |
| Сифтом | 0,3 | 0,6 | 1,3 | 2,5 | 2,4 | 5,8 | 41,6 |
| Burke-O-Lith | 0,4 | 0,7 | 1,2 | 2,3 | 2,4 | 5,7 | 42,4 |

Видно, что водопоглощение контрольных непропитанных образцов выше, чем обработанных. Кроме того, наблюдается увеличение прочности при сжатии бетонных образцов, обработанных антикоррозионными составами.

Таким образом, установлено, что флюатирование бетона целесообразно как во время его эксплуатации, так и непосредственно сразу после его изготовления.

Из приведенных результатов исследования видно, что поверхностное флюатирование позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства бетонных изделий. Однако снижение пористости лишь поверхностного слоя бетона недостаточно, особенно это касается армированных изделий, где требуется высокая надежность железобетонных конструкций. Это потребовало разработки процесса объемного флюатирования, т.е. введение пропиточного состава в бетон на стадии его приготовления.

На первоначальном этапе испытывалось влияние гексафторсиликата магния на свойства бетона. Варьировали количеством $MgSiF_6 \cdot 6H_2O$ от 0,05 до 0,5% от массы цемента. Химический реагент вводился в бетонную смесь с водой затворения. Для сравнения исследование проводилось на образцах бетона без добавок (контрольные образцы). Результаты экспериментальных данных представлены в табл. 9.

Таблица 9

Влияние количества гексафторсиликата магния при объемном флюатировании на прочность бетонных образцов

| № состава | Количество добавки $MgSiF_6$, % от массы цемента | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут | | |
|-----------|---|---|------|------|
| | | 3 | 14 | 28 |
| 1 | Контрольный образец | 17,4 | 26,2 | 37,4 |
| 2 | 0,05 | 17,3 | 25,7 | 37,7 |
| 3 | 0,1 | 17,9 | 27,2 | 42,4 |
| 4 | 0,2 | 18,1 | 27,0 | 40,6 |
| 5 | 0,3 | 17,5 | 24,8 | 36,7 |
| 6 | 0,4 | 16,2 | 24,0 | 32,2 |
| 7 | 0,5 | 14,8 | 22,9 | 31,3 |

Из приведенных экспериментальных данных видно, что введение гексафторсиликата магния в бетонную смесь более 0,2% от массы цемента приводит к стабильному снижению прочности образцов во все сроки твердения по сравнению с контрольными.

Как известно, при твердении бетона протекает ряд химических, физико-химических и других процессов. Очевидно, введенный в бетонную смесь гексафторсиликат магния, оказывает влияние на реак-

ции гидратации и гидролиза портландцемента в бетоне, т.е. на химические процессы, что согласуется с [4].

У образцов бетона с содержанием гексафторсиликата магния 0,05–0,2% во все сроки твердения наблюдается повышение прочности по сравнению с контрольными образцами на 2,5–12,0%, однако это значительно ниже, чем при поверхностном флюатировании.

Для увеличения прочности бетона в настоящее время предложено множество химических добавок, среди которых наибольшее распространение получили хлориды кальция, натрия и железа, нитриты и нитраты натрия, сульфаты натрия и алюминия, поташ и многие другие. Однако многие из них имеют ограничения в применении. Так, например, хлориды вызывают коррозию арматуры железобетонных конструкций, сульфаты и карбонаты мигрируют к поверхности бетона, образуя на ней высолы. Таким образом, наибольший интерес представляет нитрит натрия в качестве ускорителя твердения, кроме того, он является ингибитором коррозии стали.

При производстве полиамидного волокна на ОАО «Химволокно» (г. Гродно) образуется отход (продукт АКС), основным компонентом которого является нитрит натрия (70% и выше). В настоящее время продукт АКС, из-за отсутствия сбыта складировается на предприятии [5].

Влияние количества продукта АКС на твердение бетона представлено в табл. 10 (количество гексафторсиликата магния в бетонных смесях было постоянным и составляло 0,1 % от массы цемента).

Таблица 10

Зависимость прочности бетонных образцов от количества продукта АКС

| № состава | Количество продукта АКС, % от массы цемента | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут | | |
|-----------|---|---|------|------|
| | | 3 | 14 | 28 |
| 1 | Контрольный образец | 17,4 | 26,2 | 37,4 |
| 2 | 0,1 | 18,3 | 28,9 | 42,6 |
| 3 | 0,3 | 20,2 | 31,1 | 46,9 |
| 4 | 0,5 | 21,0 | 32,3 | 47,0 |
| 5 | 1,0 | 20,6 | 31,7 | 47,1 |
| 6 | 2,0 | 20,1 | 31,1 | 45,8 |
| 7 | 3,0 | 19,4 | 30,8 | 43,3 |
| 8 | 4,0 | 19,0 | 30,8 | 42,5 |
| 9 | 5,0 | 18,8 | 29,5 | 41,6 |

Видно, что при введении в бетонную смесь 0,1% гексафторсиликата магния и продукта АКС прочность на сжатие образцов значительно увеличивается по сравнению с контрольными.

Полученные результаты позволяют предположить, что в первую очередь содержащийся в продукте АКС NaNO_2 интенсифицирует

процессы гидратации и гидролиза цементных минералов, приводящие к быстрому схватыванию и твердению бетона и положительно сказывающиеся на прочности образцов. Образующийся в результате этого гидроксид кальция взаимодействует с гексафторсиликатом магния с образованием водонерастворимых фторидов магния и кальция и оксида кремния, которые способствуют формированию плотной структуры камня [6].

Таким образом, оптимальный состав комплексной химической добавки для объемного флюатирования бетона следующий (% от массы цемента):

- гексафторсиликат магния – 0,1;
- продукт АКС – 0,5.

Разработанная комплексная химическая добавка вводилась в бетонную смесь с водой затворения, после чего в возрасте 14 и 28 суток образцы испытывались на прочность при сжатии, водопоглощение, морозостойкость. Результаты эксперимента представлены в табл. 11.

Таблица 11

Свойства бетона при введении химических добавок

| № п/п | Количество добавки, % от массы цемента | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут | | Водопоглощение, % | Морозостойкость, F |
|-------|--|---|------|-------------------|--------------------|
| | | 14 | 28 | | |
| 1 | Контрольный образец | 26,2 | 37,4 | 6,7 | 300 |
| 2 | 0,1% $MgSiF_6$ | 27,2 | 42,4 | 6,6 | 400 |
| 3 | 0,5 % продукта АКС | 32,3 | 47,0 | 6,9 | 300 |
| 4 | 0,1 % $MgSiF_6$ + 0,5 % продукта АКС | 31,8 | 47,6 | 5,8 | 500 |

Из табл. 11 видно, что при объемном флюатировании образцов бетона достигается увеличение прочности на сжатие на 20–25% и морозостойкости на 2 марки. Существенный рост указанных свойств объемно-флюатированных образцов достигается за счет заполнения пор кристаллами нерастворимых солей и как следствие формирования плотной структуры камня, подтверждением этого является снижение водопоглощения на 10–13%.

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

Пропиточный состав «Сифтом» на основе гексафторсиликата магния прошел тестирование в испытательном центре Республиканского унитарного предприятия «БелдорНИИ» (г. Минск) и в Научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте бетона и железобетона «НИИЖБ» (г. Москва), которое по-

казало высокую эффективность, не уступающую пропиточному составу – аналогу «Burke-O-Lith».

РУП «БелдорНИИ» в ноябре 2004 года были проведены работы по антикоррозионной защите пропиточным составом «Сифтом» элементов мостовых конструкций через реку Зембинка на 2 км подъезда к автомобильной дороге Борисов-Вилейка-Ошмяны и мелиоративный канал на 22 км автомобильной дороги Войнилово-Клинок-Смиловичи. Указанной организацией систематически проводятся обследования опытных участков. Установлено, что за время эксплуатации разрушений и повреждений, связанных с воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды не отмечено.

На пропиточный состав «Сифтом» разработана нормативно-техническая документация (технологический регламент на производство пропиточного состава «Сифтом» и технические условия ТУ ВУ 100354659.460-2006). В настоящее время на ОАО «Гомельский химический завод» проводятся мероприятия по организации производства гексафторсиликата магния как в порошкообразном виде, так и в виде раствора и пропиточного состава на его основе «Сифтом».

Список цитированных источников

1. Шейнин А. М., Эккель С. В. Об эффективности вторичной защиты дорожного бетона // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – № 1. – С. 19–23.

2. Степанова В. Ф., Соколова С. Е., Полушкин А. Л. Новые эффективные материалы для вторичной защиты железобетонных конструкций // Бетон и железобетон – пути развития: Научные труды 2-ой Всероссийской (Международной) конф. по бетону и железобетону, Москва 05–09 сентября 2005 г. – М.: Дипак, 2005. – Т. 4. – С. 509–511.

3. Защитные составы для борьбы с коррозией бетона в агрессивных средах / А. В. Минин, А. В. Бусел, В. В. Шевчук и др. // Ресурс- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докладов МНТК, Минск, 09–10 ноября 2000 г. – Минск, 2003. – С. 233–235.

4. Давидсон М. Г., Кузьмин Е. Д. Новые способы повышения водонепроницаемости железобетонных сооружений. – Л.: Госстройиздат, 1957. – 86 с.

5. Кондрашова Г. С., Лещик С. Д., Тетерятников В. В. Изучение состава отработанного нитрита натрия – побочного продукта производства полиамидного волокна и возможности его использования в машиностроении // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: Тез. докл. 6-ой МНТК, Гродно, 1–2 ноября 2005 г. – Гродно, 2005. – С. 118–119.

6. Батраков В. Г. Теория и перспективные направления развития работ в области модифицирования цементных систем // Цемент и его применение. – 1999. – №5, 6. – С. 14–19.