

В.А. Седнев, Н.А. Сергеенкова
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: sednev70@yandex.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЁННОСТИ ЗДАНИЙ ИЗ БЕТОНА ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ

Предлагается использовать для повышения защищённости зданий из бетона от негативного воздействия воды гидрофобизирующие композиции.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, гидрофобизация.

V.A. Sednev, N.A. Sergeenkova

USE OF HYDROPHOBIC COMPOSITIONS TO INCREASE PRESERVATION OF BUILDINGS CONSTRUCTED OF CONCRETE FROM THE NEGATIVE IMPACT OF WATER

It is offered to use hydrophobic compositions to increase preservation of buildings constructed of concrete from the negative impact of water.

Key words: emergency, hydrophobicity.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 14 июня 2016 г.

Одним из наиболее негативных воздействий гидрометеорологических опасных явлений обладает вода, разрушающе действующая на бетон, который используется в 60 % случаев при строительстве зданий и сооружений. Повышение водопоглощения выше допустимых норм приводит к ухудшению эксплуатационно-технических свойств бетона: к увеличению пористости, понижению морозостойкости, теплопроводности, коррозионной стойкости, к снижению прочности, что может стать причиной разрушений зданий и сооружений.

Вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объёме почти на 10 %, в результате стенки некоторых пор разрушаются и при повторном увлажнении вода проникает глубже в материал. Последствия негативного воздействия воды становятся очевидными уже через 5-6 лет. Так, летом 1976 г. в Австрии обрушился мост Рейхсбрюкке через р. Дунай. Причина – "ослабление прочности" бетона в левобережной опоре моста вследствие действия воды и её замораживания внутри пор бетона.

Сильно разрушает структуру строительного материала и его попеременное намокание и высыхание. Перемещаясь в порах, вода вызывает неравномерное распределение механических напряжений, что также способствует разрушению.

Следовательно, для улучшения эксплуатационно-технических свойств бетона, прежде всего, следует обеспечить его защищённость от негативного воздействия воды. Это можно сделать: гидроизоляцией, облицовкой и гидрофоби-

защитой, которая является наиболее эффективным, технологически простым и дешевым способом предотвращения поглощения материалом воды, а в качестве исходных компонентов *гидрофобизирующих композиций (ГФК)* примерно 50 лет используются кремнийорганические соединения [1-4].

При этом, несмотря на большое количество работ в области применения гидрофобизации для обеспечения защищенности зданий и сооружений, получение ГФК в них основывается на экспериментальном методе, который заключается в проведении опытов в несколько серий и определении плотности и вязкости полученных композиций, краевого угла смачивания и водопоглощения. Метод требует проведения большого количества опытов, не дает возможности получать искомые результаты с наименьшими затратами и с необходимой точностью, а сам процесс экспериментирования зависит от подготовки и интуиции исследователя.

Таким образом, актуальность проведенного исследования определяется:

- ухудшением эксплуатационно-технических свойств бетона вследствие повышения водопоглощения выше допустимых норм, что приводит к увеличению пористости, понижению морозостойкости, теплопроводности, коррозионной стойкости, изменению эстетических характеристик, а, в итоге, к снижению прочности, что может стать причиной разрушения зданий и сооружений из бетона;
- разнообразием требований, предъявляемых к составу, способам приготовления и нанесения гидрофобизирующих композиций, а также отсутствием теоретических положений по обоснованию их состава;
- наличием противоречия между необходимостью повышения защищенности зданий и сооружений из бетона от негативного воздействия воды и отсутствием гидрофобизирующих композиций, обеспечивающих их защищенность.

Разработанные теоретические положения и практические предложения по повышению защищенности зданий и сооружений из бетона от негативного воздействия гидрометеорологических опасных явлений опираются на положения теории вероятностей и аппарата математической статистики и элементоорганической химии, теоретические основы подготовки и принятия оптимальных решений, теорию планирования эксперимента.

На основе всестороннего анализа: материалов, используемых при строительстве, и их свойств; влияния негативного воздействия гидрометеорологических опасных явлений на защищенность зданий и сооружений; средств и способов обеспечения защищенности зданий и сооружений из бетона от водопоглощения; ГФК и их составов и методов их обоснования разработана методика, отличающаяся от существующих тем, что обоснование ГФК и их свойств осуществляется с применением разработанных математических выражений, полученных на основе математической модели рецептуры ГФК и применения сим-

плекс-решетчатого метода планирования эксперимента. В результате разработаны ГФК, которые позволяют повысить защищенность зданий и сооружений из бетона от негативного воздействия воды, в 3,5 раза превосходят по своим характеристикам широко используемые отечественные гидрофобизаторы и сопоставимы с импортными аналогами.

Методика обоснования ГФК включает: обоснование требований к ГФК, определение рецептуры ГФК в лабораторных условиях, обоснование состава ГФК [5].

При обосновании требований проанализированы основные свойства гидрофобизаторов и учтены требования к компонентному и гидрофобизирующим составам, технологии получения и применения ГФК (рис. 1). Определение рецептуры предполагало использование существующих экспериментальных методик определения плотности и вязкости ГФК, краевого угла смачивания и водопоглощения.

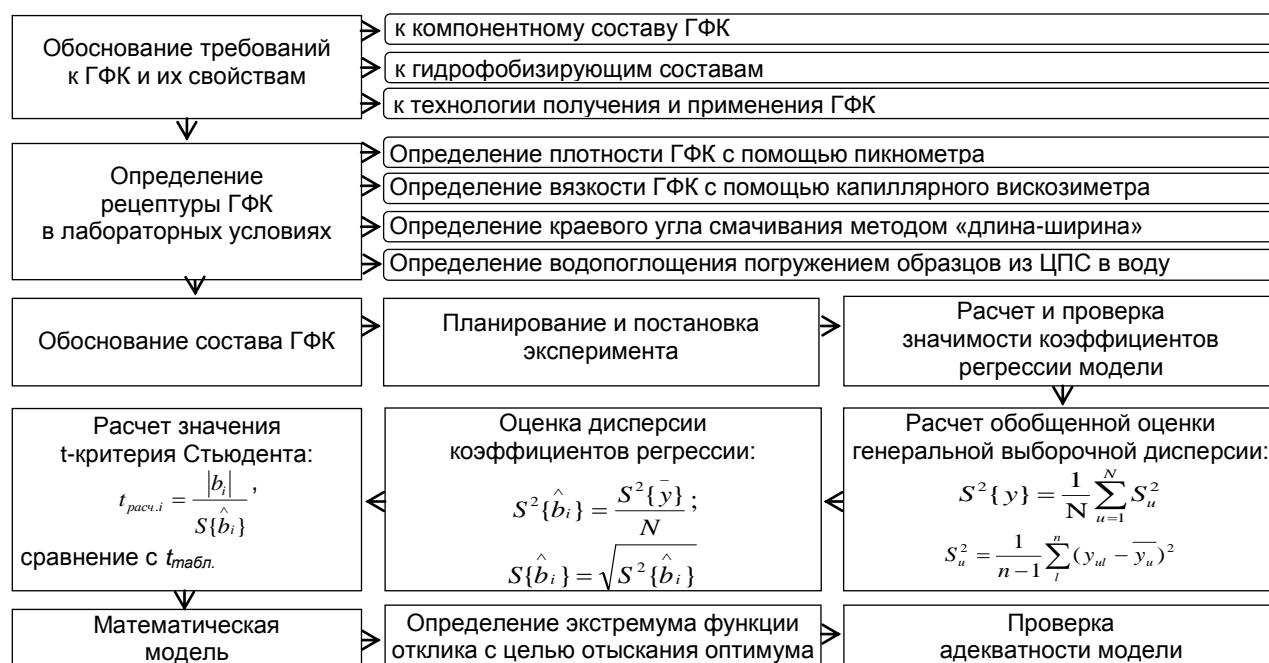


Рис. 1. Блок-схема методики обоснования гидрофобизирующих композиций и их свойств

При обосновании требований к ГФК учитывались доступность исходного сырья, оптимальная концентрация растворов, глубина проникновения, химическая стойкость, термостойкость, легкость приготовления и простота нанесения и др., и установлено, что в качестве исходных компонентов для разработки ГФК для обеспечения защищенности зданий и сооружений из бетона наиболее предпочтительны алкилалкоксисиланы, которые способны придавать высокие водоотталкивающие свойства, не требуя использования специального оборудования и определенного температурного режима для их приготовления и применения.

При обосновании рецептуры в лабораторных условиях в качестве компонентов ГФК предложены многократно апробированные в промышленности, оргоаноалкоксисиланы, выступающие активными гидрофобизирующими агентами: *октилтриэтоксисилан (ОТЭС)*, *фенилтриметоксисилан (ФТМС)*, *метилтриметоксисилан (МТМС)*, *винилтриметоксисилан (ВТМС)*, *тетраэтоксисилан (ТЭОС)*. Для использования гидрофобизаторов на основе оргоаноалкоксисиланов требуются органические растворители, так как применение водных растворов ограничено необходимостью использования специального диспергирующего оборудования для образования стабильных эмульсий. В качестве растворителя выбран *изопропиловый спирт (ИПС)*, широко используемый в промышленности.

Для изучения влияния состава ГФК на водопоглощение поверхности образцов из *цементно-песчаной смеси (ЦПС)* определены рациональный расход на 1 м^2 обрабатываемой поверхности и время отверждения ГФК (время, в течение которого происходит химическое связывание поверхности материала и ГФК). Для этого выбраны расход композиций – 150, 200, 250 г/м^2 и время отверждения композиций – 1, 3, 7 суток и проведены параллельные эксперименты (рис. 2), из которых видно, что рациональный расход композиции – 200 г/м^2 и время отверждения – трое суток.

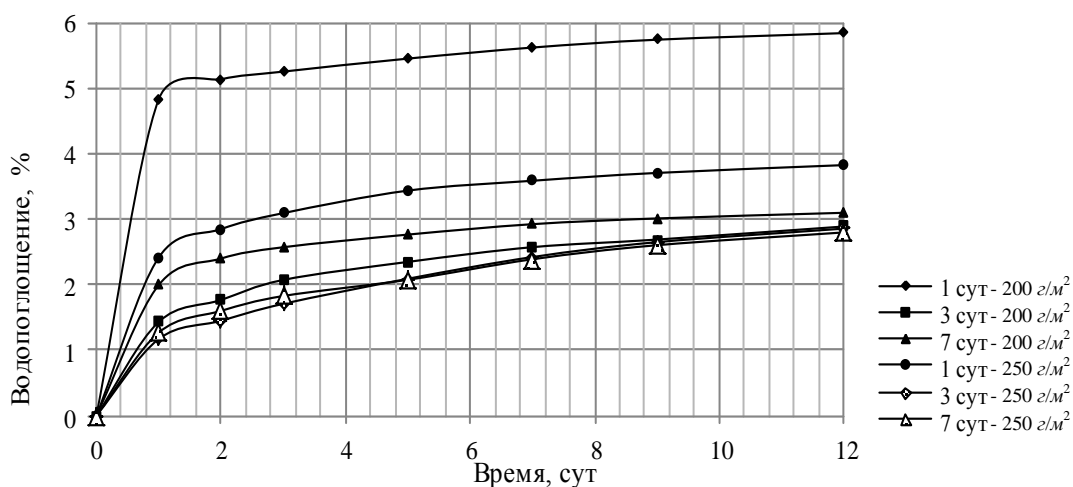


Рис. 2. Водопоглощение образцов из цементно-песчаной смеси в зависимости от расхода и времени отверждения ГФК

Для оценки влияния используемых оргоаноалкоксисиланов на водопоглощение образцов из ЦПС изучены характеристики ГФК (табл. 1) и выявлено, что наибольшее значение краевых углов смачивания наблюдается для композиций, в состав которых входит ОТЭС; композиции, в состав которых входят чистые МТМС, ВТМС, ТЭОС, показывают низкие значения краевых углов смачивания, что говорит об их низкой гидрофобизирующей способности, однако в смеси с ОТЭС и ФТМС значения краевых углов смачивания имеют высокие значения. Значения плотности и вязкости имеют приблизительно одинаковые значения, что не позволяет сделать выводы об эффективности рассматриваемых

рецептур. Таким образом, на основе оценки значений краевых углов смачивания и водопоглощения образцов из ЦПС установлено, что наиболее эффективны для обеспечения защищенности образцов из ЦПС композиции, в состав которых входит ОТЭС [5, 6].

Таблица 1

Составы исследуемых гидрофобизирующих композиций

Компонентный состав	Содержание компонентов (в % по массе)	Краевой угол смачивания, град.	Плотность, г/см ³	Вязкость, сСт	Водопоглощение образцов из ЦПС на 7 сутки, %
ОТЭС	100	102	1,4160	0,875	1,92
ФТМС	100	96	1,4734	1,064	2,78
МТМС	100	86	1,3696	0,955	11,21
ВТМС	100	82	1,3960	0,903	11,64
ТЭОС	100	75	1,3830	0,993	10,64
ОТЭС/ФТМС	67 / 33	98	1,4336	0,961	1,93
ОТЭС / ФТМС	33 / 67	96	1,4514	0,985	2,14
ОТЭС / ФТМС / МТМС	33 / 33 / 34	100	1,4067	0,938	2,12
ОТЭС / ФТМС / ВТМС	33 / 33 / 34	94	1,4089	0,910	2,24
ОТЭС / ФТМС / ТЭОС	33 / 33 / 34	96	1,4215	0,987	2,25

Для получения рациональной рецептуры обоснован состав ГФК с использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента типа $\{5, 3\}$, где $g = 5$ – число компонентов в системе и $n = 3$ – степень полиномиальной модели (рис 3). Такой выбор сделан по следующим причинам: во-первых, планы низших порядков позволяют учитывать не более двойных взаимодействий при сколь угодно числе компонент в системе; во-вторых, варьирование уровней факторов в планах низших порядков не более трех; в-третьих – выбранный симплекс-решетчатый план позволяет провести исследования при варьировании факторов на четырех уровнях (0, 1/3, 2/3, 1) и учитывать двойные и тройные нелинейные взаимодействия между компонентами системы. Цель эксперимента заключалась в определении такой рациональной рецептуры, которая позволила бы получить минимальное водопоглощение образцов из ЦПС, обеспечивающее гарантированную защищенность от негативного воздействия воды. Количество опытов в плане типа $\{5, 3\}$ равно 35 ($N = 35$). Для рецептуры ГФК предложены следующие компоненты: X_1 – ОТЭС, X_2 – ФТМС, X_3 – МТМС, X_4 – ВТМС, X_5 – ТЭОС. Математическая модель плана представляет собой уравнение регрессии с 35-ю неизвестными коэффициентами. Согласно матрице планирования эксперимента проведен эксперимент, в результате которого получено среднее водопоглощение образцов из ЦПС, пропитанных в каждой из 35 рецептур гидрофобизатора, рассчитаны реальные коэффициенты регрессии, проведена оценка значимости коэффициентов регрессии. В результате получена математическая зависимость с реальными коэффициентами.

Задавая значения независимых переменных при двойном и тройном сочетании определён экстремум функции отклика, который равен 1,37 % при тройном взаимодействии компонентов ОТЭС, ФТМС, МТМС в соотношении компонентов: 50 %, 21 %, 29 % (рис. 4).

Планирование и постановка эксперимента типа {5; 3}: X_1 – ОТЭС, X_2 – ФТМС, X_3 – МТМС, X_4 – ВТМС, X_5 – ТЭОС.
 Количество опытов: $N=35$. Математическая модель:

$$\hat{y} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \beta_{124} x_1 x_2 x_4 + \beta_{125} x_1 x_2 x_5 + \beta_{134} x_1 x_3 x_4 + \beta_{135} x_1 x_3 x_5 + \beta_{145} x_1 x_4 x_5 + \beta_{234} x_2 x_3 x_4 + \beta_{235} x_2 x_3 x_5 + \beta_{245} x_2 x_4 x_5 + \beta_{345} x_3 x_4 x_5 +$$

$$+ \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{14} x_1 x_4 (x_1 - x_4) + \gamma_{15} x_1 x_5 (x_1 - x_5) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \gamma_{24} x_2 x_4 (x_2 - x_4) + \gamma_{25} x_2 x_5 (x_2 - x_5) + \gamma_{34} x_3 x_4 (x_3 - x_4) + \gamma_{35} x_3 x_5 (x_3 - x_5) + \gamma_{45} x_4 x_5 (x_4 - x_5) +$$

$$+ \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{15} x_1 x_5 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{24} x_2 x_4 + \beta_{25} x_2 x_5 + \beta_{34} x_3 x_4 + \beta_{35} x_3 x_5 + \beta_{45} x_4 x_5.$$

Расчет коэффициентов регрессии модели: $\beta_1=1,92$; $\beta_2=2,78$; $\beta_3=11,21$; $\beta_4=11,31$; $\beta_5=10,54$; $\beta_{12}=-1,4175$; $\beta_{13}=-18,63$; $\beta_{14}=-20,025$; $\beta_{15}=-15,12$; $\beta_{23}=10,80$; $\beta_{24}=-7,695$; $\beta_{25}=6,0425$; $\beta_{34}=-1,3275$; $\beta_{35}=2,745$; $\beta_{45}=-2,745$; $\gamma_{12}=-0,5175$; $\gamma_{13}=18,135$; $\gamma_{14}=17,415$; $\gamma_{15}=18,99$; $\gamma_{23}=4,725$; $\gamma_{24}=-10,575$; $\gamma_{25}=3,2175$; $\gamma_{34}=-0,1125$; $\gamma_{35}=-8,5275$; $\gamma_{45}=3,735$; $\beta_{123}=-58,2075$; $\beta_{124}=-42,3675$; $\beta_{125}=-74,925$; $\beta_{134}=-30,8925$; $\beta_{135}=29,2275$; $\beta_{145}=-10,35$; $\beta_{234}=16,1775$; $\beta_{235}=7,245$; $\beta_{245}=8,0325$; $\beta_{345}=-12,96$.

Проверка значимости коэффициентов регрессии по t -критерию Стьюдента (рис. 1).

Математическая модель с реальными коэффициентами:

$$\hat{y} = 1,92x_1 + 2,78x_2 + 11,21x_3 + 11,31x_4 + 10,54x_5 - 1,42x_1x_2 - 18,63x_1x_3 - 20,03x_1x_4 - 15,12x_1x_5 + 10,8x_2x_3 + 7,7x_2x_4 + 16,04x_2x_5 - 1,33x_3x_4 + 2,75x_3x_5 + 0,52x_4x_5 +$$

$$+ 18,14x_1x_2(x_1 - x_2) + 17,42x_1x_3(x_1 - x_3) + 18,99x_1x_4(x_1 - x_4) + 4,73x_2x_3(x_2 - x_3) - 10,58x_2x_4(x_2 - x_4) + 3,22x_2x_5(x_2 - x_5) - 8,53x_3x_4(x_3 - x_4) + 3,73x_3x_5(x_3 - x_5) - 58,21x_1x_2x_3 -$$

$$- 42,37x_1x_2x_4 - 74,93x_1x_2x_5 - 30,89x_1x_3x_4 - 29,23x_1x_3x_5 - 10,35x_1x_4x_5 + 16,18x_2x_3x_4 + 7,24x_2x_3x_5 + 8,03x_2x_4x_5 - 12,96x_3x_4x_5.$$

Определение экстремума функции отклика с целью отыскания оптимума (двойное и тройное сочетание)

Проверка адекватности модели

Рис. 3. Методика обоснования состава гидрофобизирующих композиций

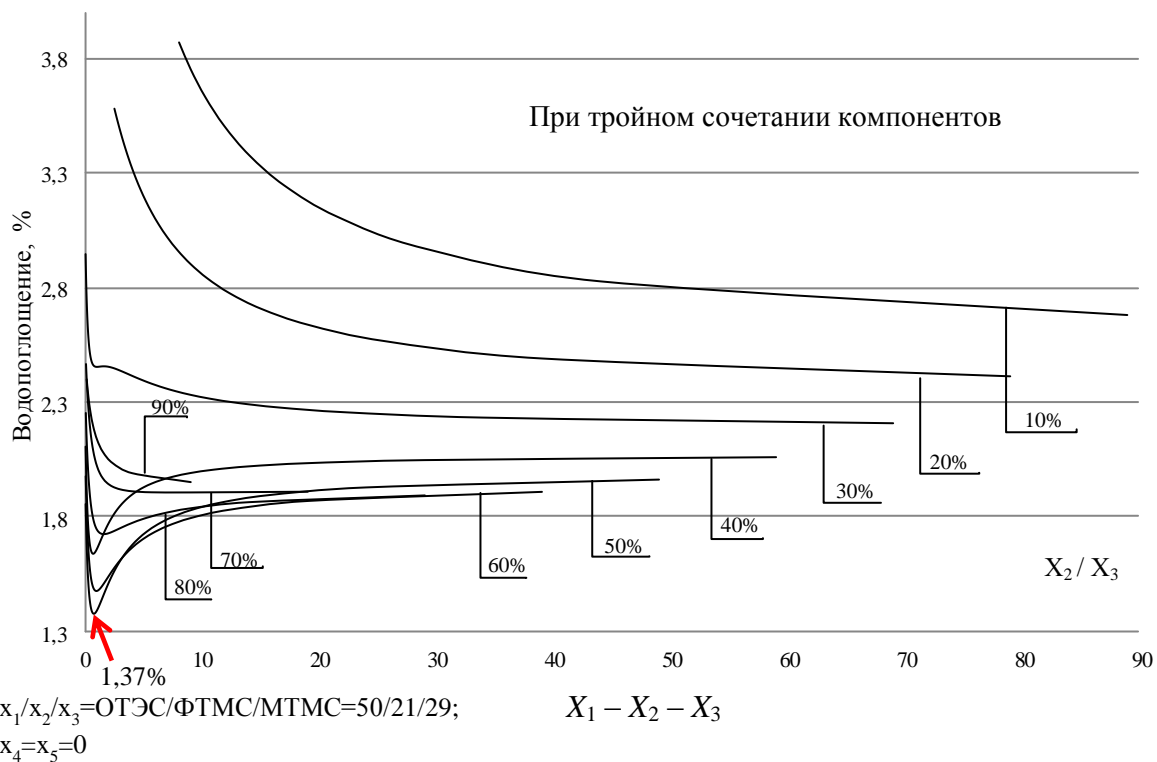


Рис. 4. Экстремум функции отклика при тройном сочетании компонентов

Следующим этапом являлось экспериментальное подтверждение водопоглощения, полученного теоретически, для чего проводили три опыта по 20 параллельных наблюдений на рациональном составе рецептуры: ОТЭС – 50 %, ФТМС – 21 %, МТМС – 29 %.

В результате получена математическая модель, которая описывает физическую модель и адекватна ей; найдена оптимальная рецептура ГФК (№ 1), которая позволяет получить минимальное водопоглощение бетона: теоретическое водопоглощение $\hat{y} = 1,37\%$, экспериментальное водопоглощение $y^* = 1,42\%$, относительная ошибка α составляет 3,52 %.

Сравнение ГФК отечественного и импортного производства показало, что водопоглощение образцов из бетона, обработанных полученной рецептурой с применением ИПС, на 28 суток составляет 3,24 %, что в 3,5 раза меньше значения водопоглощения при обработке бетона отечественным гидрофобизатором ГКЖ-94М и сопоставимо со значением водопоглощения при обработке бетона импортным аналогом SILRES 290 (табл. 2).

Таблица 2

Водопоглощение образцов из ЦПС, пропитанных 10 % растворами в ИПС

№	ГФК	Водопоглощение, %					
		1 сут.	2 сут.	5 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.
1	SILRES BS 290	0,88	1,18	1,69	1,81	2,44	3,18
2	ГКЖ-94М	4,05	7,90	9,62	10,17	11,18	11,64
3	Рецептура №1	0,68	1,04	1,23	1,42	2,86	3,24

Для повышения защищенности зданий и сооружений из бетона от негативного воздействия воды разработаны предложения, включающие: предложения по получению и применению ГФК на спиртовой основе; предложения по составу рецептуры и применению ГФК на водной основе; оценку организации проведения работ по гидрофобизации существующих зданий и сооружений [6].

Результаты методики обоснования ГФК и их свойств позволили формализовать порядок получения и применения ГФК на спиртовой основе (рис. 5). Технология получения и применения ГФК на основе ИПС, не требующая на стадии приготовления и применения использования специального оборудования и определенных температурных условий, в рамках которой уточнено значение максимального водопоглощения (1,37 % на 7 суток), позволяет увеличить параметры воздействия на эксплуатационно-механические свойства бетона (пористость, морозостойкость, теплопроводность, коррозионная стойкость, прочность).

Необходимость получения ГФК на водной основе (рис. 6) вызвана тем, что гидрофобизация бетона осуществляется не только при эксплуатации, но и при получении бетона и возведении зданий и сооружений. Отличие технологии на водной основе состоит непосредственно в стадии получения ГФК, в состав которых введен аминоэтиламинопропилтриметоксисилан, который выполняет роль эмульгатора, в результате чего исключена необходимость

использования специального оборудования для их получения. Такие композиции обладают рядом преимуществ: стабильность при хранении при отрицательных температурах; исключение воды при транспортировке продукта, которая составляет 50-60 %.



Рис. 5. Этапы подготовки, получения и применения гидрофобизирующих композиций на спиртовой основе

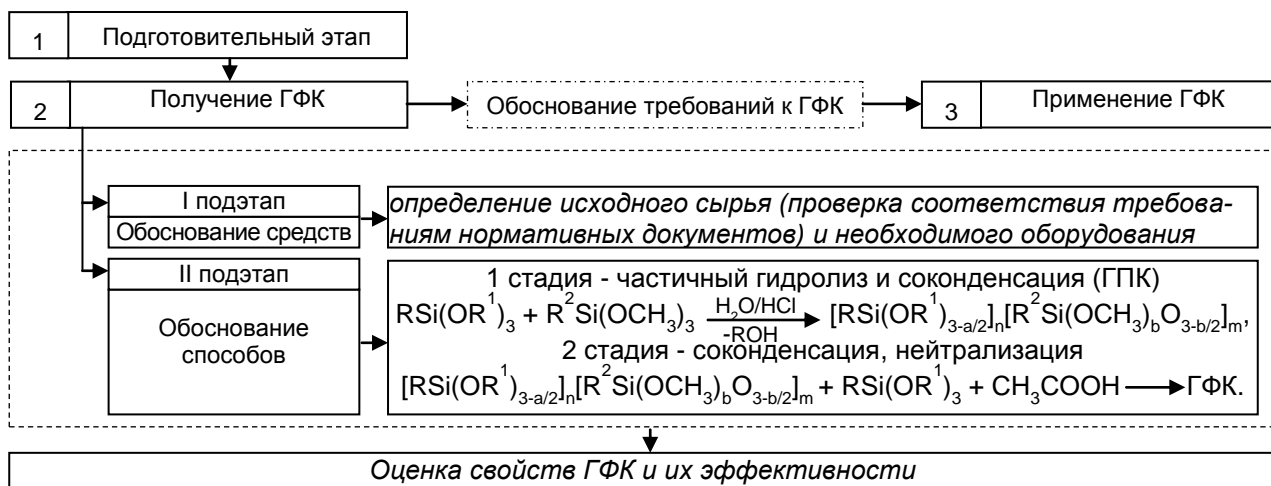


Рис. 6. Порядок получения состава рецептуры гидрофобизирующих композиций на водной основе

При этом изучено влияние органического и алкокси- заместителя органо-триалкоксисилана на гидрофобные свойства обрабатываемой поверхности на основе определения плотности и вязкости ГФК, краевого угла смачивания, размера частиц эмульсий и водопоглощения. Анализ краевых углов смачивания (табл. 3) показал закономерность – образцы, пропитанные составами на основе органотриэтоксисиланов, имеют значения краевых углов смачивания больше, чем на основе органотриметоксисиланов.

Таблица 3

Физико-химические характеристики ГФК на водной основе

№	Используемый органо-триалкоксисилан	Плотность, $г/см^3$	Вязкость, $сСт$ (20 °С)	Краевой угол смачивания, град.
1	$CH_3Si(OCH_3)_3$	1,007	7,6	112,1
2	$CH_3Si(OC_2H_5)_3$	0,964	10,3	111,9
3	$C_2H_4Si(OCH_3)_3$	1,020	8,7	98,5
4	$C_2H_4Si(OC_2H_5)_3$	0,981	19,8	100,0
5	$C_6H_5Si(OCH_3)_3$	1,078	26,7	87,0
6	$C_8H_{17}Si(OC_2H_5)_3$	0,948	102,2	104,6

Определение размера частиц эмульсии осуществлялось с применением анализатора размера частиц. Сравнение 5 % водных эмульсий на основе МТМС и МТЭС (рис. 7) показало, что средний размер частиц для композиции на основе МТМС составляет 40 нм, на основе МТЭС – 115 нм. Таким образом, состав на основе МТМС обладает лучшей проникающей способностью, а, следовательно, лучшей гидрофобизирующей способностью по сравнению с другими композициями [5].

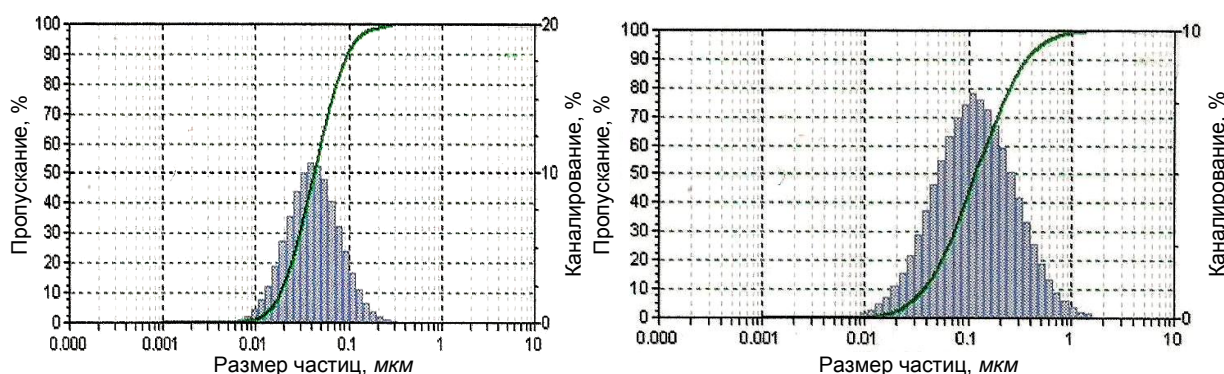


Рис. 7. Размер частиц эмульсий на основе МТМС и МТЭС

В качестве образцов сравнения, при определении водопоглощения, использованы лучшие образцы серийно выпускаемых отечественных (Пента-811К и ГКЖ-11П – на основе метилсиликонатов калия и натрия) и импортных ГФК (композиция SILRES BS 2101 по составу близка к разработанным композициям). На рис. 8, 9 представлены полученные результаты с использованием 5 и 10 %-х эмульсий при гидрофобизации образцов из ЦПС. Исследования показывают, что на степень гидрофобности поверхности образцов из ЦПС сильно влияет природа используемых органо-триалкоксисиланов, а именно – размер углеводородного радикала и, в меньшей степени, природа алкоксигруппы.

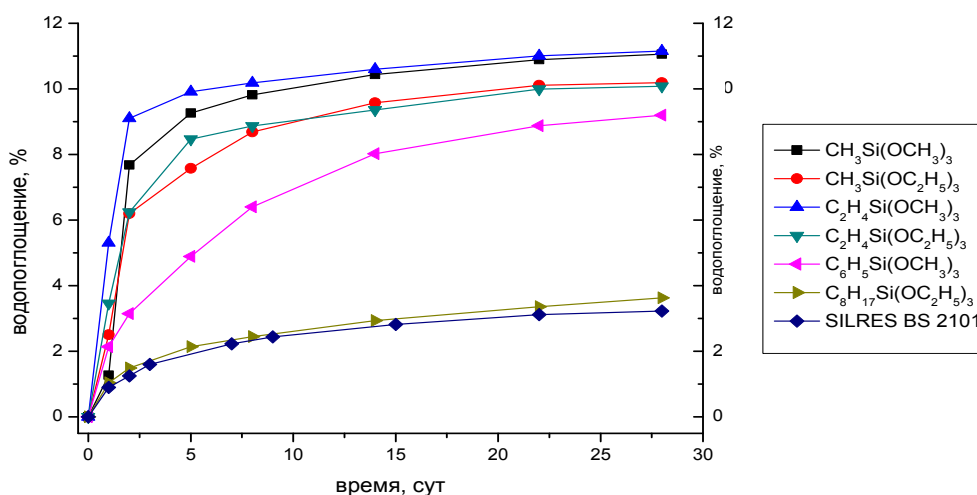


Рис. 8. Водопоглощение образцов из ЦПС, пропитанных 5 % водными эмульсиями

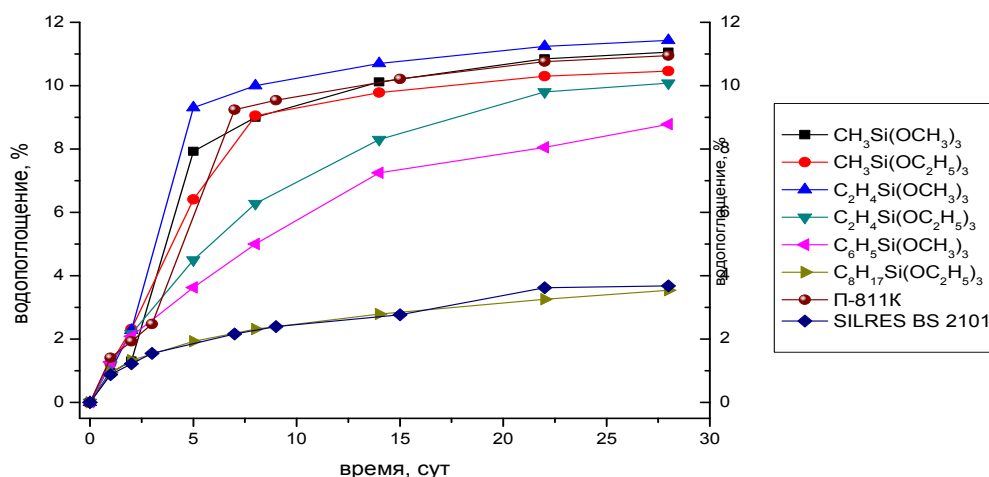


Рис. 9. Водопоглощение образцов из ЦПС, пропитанных 10 % водными эмульсиями

Наибольший гидрофобный эффект достигается при использовании композиций на основе ОТЭС (рис. 8, 9, образец № 6). Композиция SILRES BS 2101 также показывает хорошие результаты, близкие с образцом № 6, что закономерно, так как содержит в своем составе ОТЭС [6].

Таким образом, предложен состав рецептуры ГФК на водной основе, способный самоэмульгироваться в воде, повышающий защищенность зданий и сооружений от негативного воздействия воды, при этом при проведении поверхностной гидрофобизации состав на основе ОТЭС на 60 % превосходит по гидрофобизирующей способности отечественные гидрофобизаторы – ГКЖ-11, Пента-811К и сопоставимы по водоотталкивающим свойствам с импортными аналогами, а также доказана возможность их использования для объемной гидрофобизации бетона, что позволяет понизить водопоглощение бетона на стадии его изготовления и исключить необходимость проведения работ по обслуживанию зданий и сооружений из бетона в процессе эксплуатации (табл. 4).

Водопоглощение образцов из ЦПС при объёмной гидрофобизации

№	RSi(OR) ¹ ₃		Водопоглощение, %				
	R	R ¹	1 сут.	2 сут.	7 сут.	15 сут.	28 сут.
1	CH ₃	CH ₃	2,12	2,30	2,98	3,49	4,30
2	CH ₃	C ₂ H ₅	2,08	2,36	3,00	3,52	4,47
3	C ₂ H ₄	CH ₃	2,37	2,53	3,20	3,79	4,50
4	C ₂ H ₄	C ₂ H ₅	2,28	2,49	3,15	3,84	4,71
5	C ₅ H ₆	CH ₃	1,10	1,22	2,28	2,95	3,99
6	C ₈ H ₁₇	C ₂ H ₅	1,17	1,44	2,20	2,74	3,43
7	SILRES BS 290		0,97	1,28	1,91	2,36	2,79
8	ПЕНТА-811 (40-45 %)		7,99	8,36	9,59	10,45	11,81
9	ГКЖ-11П (30-35 %)		7,73	7,82	8,36	8,76	9,45
10	Непропитанный образец		12,12	12,41	13,04	13,14	13,21

Проведенные исследования показали:

- на степень гидрофобности образцов из ЦПС влияет природа используемых органотриалкоксисиланов, а, именно, – размер углеводородного радикала и природа алкоксигруппы. Наибольший гидрофобный эффект достигается при использовании композиций на основе ОТЭС и ФТМС (табл. 4 образцы №№ 5, 6);

на гидрофобизацию поверхности образцов из ЦПС влияют не только органические радикалы, но и алкокси группы R¹. Применение метил- и винилтриалкоксисиланов показывает, что этоксисодержащие силаны обладают лучшей гидрофобизирующей способностью, чем органотриметоксисиланы (табл. 4, образцы №№ 1-4).

В случае объёмной гидрофобизации бетона для получения наилучшего гидрофобного эффекта необходимо применять состав на основе ОТЭС. В качестве исходных компонентов для теоретического обоснования ГФК на водной основе предложены: ОТЭС, ФТМС, МТМС, ВТМС, аминоэтиаминопропилтриметоксисилан.

Разработанные предложения позволяют: получить рациональные рецептуры ГФК; удешевить стадию их получения за счет исключения необходимости использования специального оборудования для их получения; в 3-4 раза повысить характеристики отечественных ГФК; обеспечивать защищенность бетона на стадии его изготовления, используя ГФК на водной основе, обеспечить защищенность зданий из бетона на период их эксплуатации.

Наиболее экономичными (табл. 5) (в ценах 2012 г.) являются гидрофобизаторы ГКЖ-11, П-811К, однако циклические испытания показали, что для этого гидрофобизатора, как и для эмульсии ГКЖ-94М, характерна и самая низкая эффективность гидрофобной защиты, поэтому применять их нецелесообразно. Наибольшая эффективность гидрофобной защиты получена при использовании гидрофобизаторов импортного производства Silres BS 290 и Silres BS 2101 и разработанных рецептур ГФК.

Сравнительная стоимость обработки 1 м² поверхности гидрофобизаторами

ГФК	Расход, г/м ²	Стоимость, руб./кг	Стоимость 1 м ² , руб.
ГКЖ-94М	30,3	113	3,43
ГКЖ-11П	43,3	29	1,26
Пента 811К	250,0	135	33,22
Silres BS 290	200,0	397	79,4
Silres BS 2101	200,0	400	84,0
Рецептура №1	200,0	250	50,0
Рецептуры на водной основе	200,0	320	64,0

Таким образом, в отличие от существующих технологий получения гидрофобизирующих композиций на спиртовой основе, включен этап теоретического обоснования их рационального состава; введен исходный компонент в виде аминоэтиламинопропилтриметоксисилана с целью получения исходных экспериментальных данных для теоретического обоснования рационального состава гидрофобизирующих композиций на водной основе, позволяющий исключить для их получения специальное диспергирующее оборудование [7].

Оценить эффективность применения ГФК можно по формуле:

$$K_{\text{эфф}} = C_i / (1 - W_m).$$

где C_i – стоимость обработки 1 м² поверхности i -й ГФК, руб.;

W_m – водопоглощение, доли.

Стоимость обработки 1 м² поверхности рецептурой № 1 обозначена за C_{min} , тогда стоимость остальных ГФК (табл. 6):

$$C_i = C / C_{\text{min}},$$

где C – стоимость 1 кг товарного продукта гидрофобизатора, руб.

Оценка эффективности ГФК

№	ГФК	C, руб./м ²	C _i	W _m		1 - W _m , доли	K _{эфф} *
				%	доли		
1	Silres BS 290	79,4	1,59	3,18	0,0318	0,968	1,64
2	Silres BS 2101	84,0	1,68	3,68	0,0368	0,963	1,74
3	Рецептура №1	50,0	1	3,24	0,0324	0,968	1,03
4	Рецептуры на водной основе	64,0	1,28	3,54	0,0354	0,965	1,33

Примечание: чем ниже $K_{\text{эфф}}$, тем эффективнее ГФК

При обработке жилого 10-этажного здания (6 подъездов) с площадью обрабатываемой поверхности 5020 м² предполагается экономия:

- при применении ГФК на основе изопропилового спирта:

$$\begin{aligned} \text{Эф}_c &= \text{МЗ}_{\text{Silres BS 290}} - \text{МЗ}_{\text{Рецептура№1}} = 79,4 \cdot 5020 - 50,0 \cdot 5020 = \\ &= 398588 - 251000 = 147588 \text{ руб}; \end{aligned}$$

- при применении ГФК на водной основе:

$$\begin{aligned} \text{Эф}_в &= \text{МЗ}_{\text{Silres BS 2101}} - \text{МЗ}_{\text{Рецептуры на водной основе}} = 84,0 \cdot 5020 - 64,0 \cdot 5020 = \\ &= 421880 - 321280 = 100600 \text{ руб}. \end{aligned}$$

Стоимость использования разработанных ГФК, по сравнению с импортными аналогами, меньше на 37 % для состава на спиртовой основе, на 24 % – для состава на водной основе.

Литература

1. **Седнев В.А., Савченко Н.А.** Пути повышения эффективности защиты поверхности зданий и сооружений от разрушающего воздействия окружающей среды // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2011. № 4. С. 64-72.

2. **Седнев В.А., Савченко Н.А.** Кремнийорганические композиции для нанесения защитных гидрофобизирующих покрытий на строительные материалы // Физика и химия обработки материалов. 2011. № 6. С. 76-81.

3. **Седнев В.А., Савченко Н.А.** Научно-методический подход к обоснованию гидрофобизирующих композиций для защиты поверхностей сооружений из бетона и кирпича от воздействия источников чрезвычайных ситуаций природного характера // Пожары и чрезвычайные ситуации. 2011. № 4. С. 24-32.

4. **Седнев В.А., Савченко Н.А.** Пути повышения эффективности защиты поверхности зданий и сооружений от воздействия окружающей среды на основе метода объёмной гидрофобизации // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 5. С. 45-46.

5. **Савченко Н.А.** Научно-методический подход повышения эффективности защиты зданий и сооружений из бетона и кирпича от разрушающего воздействия окружающей среды // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2012. № 2. С. 90-93.

6. **Седнев В.А., Савченко Н.А., Кондрашин А.В.** Методика обоснования, технология получения и предложения по применению гидрофобизирующих композиций нового поколения для защиты зданий и сооружений из бетона и кирпича от разрушающего воздействия окружающей среды // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 4. С. 6-15.

7. **Седнев В.А., Савченко Н.А.** Методы повышения защищенности зданий и сооружений из бетона, кирпича и древесины от негативного воздействия гидрометеорологических опасных явлений: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 98 с.