



УДК 691.332

Галаутдинов А.Р. – ассистент

E-mail: galautdinov89@mail.ru

Мухаметрахимов Р.Х. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса

Аннотация

Невысокая водостойкость гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ) на основе низкомарочного гипсового вяжущего (ГВ) с пониженным содержанием портландцемента (ПЦ) и активной минеральной добавки (АМД) ограничивает его широкое применение в строительстве, в связи с чем, традиционно применяются вяжущие с повышенным расходом ПЦ и АМД. В работе показано, что одним из эффективных путей повышения водостойкости ГЦПВ на основе низкомарочного ГВ с соотношением ГВ:ПЦ:АМД=76:4:20 является объемная и поверхностная гидрофобизация. На первом этапе изучено влияние ряда водорастворимых и водонерастворимых гидрофобизирующих добавок (ГД) на реологические и физико-механические свойства ГЦПВ, определено их оптимальное содержание в составе смеси. На втором этапе установлены особенности совместного действия гидрофобизирующих и пластифицирующих добавок, разработаны и запатентованы комплексные добавки полифункционального действия на их основе для данного состава вяжущего. Получены водостойкие изделия из ГЦПВ на основе низкомарочного гипса марки Г6 с содержанием ПЦ 20 %, АМД 4 %.

Ключевые слова: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, водостойкость, гидрофобизация, комплексная добавка.

Введение

Относительно широкое распространение ГЦПВ обусловлено высокими эксплуатационными показателями изделий на их основе, такими как пределы прочности при изгибе и сжатии, высокая огнестойкость, тепло- и звукоизоляционные характеристики, а также быстрый набор прочности. Впервые ГЦПВ начали применять в 1956 г. при изготовлении панелей для устройства перегородок и полов сантехкабин. Позже был налажен массовый выпуск вяжущих и различных изделий на их основе [1]. Вместе с тем, следует отметить, что широкое использование изделий на основе гипса, в том числе ГЦПВ сдерживается из-за недостаточной их водостойкости. Основная причина низкой водостойкости по мнению П.П. Будникова, В.Н. Юнга связана с относительно высокой растворимостью гипса (2,05 г/л при 20 °С). При увлажнении изделий происходит растворение кристаллов гипса с образованием насыщенного раствора сульфата кальция, в результате чего ослабевает межкристаллическая связь и снижаются пределы прочности. П.А. Ребиндер и др. ученые видят причину снижения прочности в расклинивающем действии водных пленок на внутренней поверхности микрощелей, вследствие чего наблюдается разъединение отдельных микроэлементов кристаллической структуры.

В работах А.В. Волженского, Р.В. Иванниковой, В.И. Стамбулко, Г.С. Когана, А.В. Ферронской, З.С. Краснослободской и др. исследованы композиции, состоящие из гипса, портландцемента, а также различных гидравлических добавок [1, 2, 5, 8]. Анализ многочисленных данных показывает, что соотношение гипса, портландцемента и АМД в составе ГЦПВ позволяет получать ГЦПК с различными свойствами. Так, например по данным А.В. Волженского, В.И. Стамбулко, А.В. Ферронской водостойкость ГЦПВ оцененная по коэффициенту размягчения на гипсовом вяжущем (ГВ) с прочностью на сжатие 10,8 МПа (Г10) при соотношении ГВ:ПЦ:АМД=65:23:12 в зависимости от активности АМД (285-365 мг/г) составляет 0,55-0,8 [1]. Введение трепела в количестве 10, 20, 30 % взамен части гипса (Г10) при содержании ПЦ в количестве 20 % позволяет получить

водостойкость ГЦПК равную 0,64, 0,76 и 0,80 соответственно [2]. В работе [1] коэффициент размягчения гипсоцементных растворов составляет 0,4-0,55, при этом к 6 месяцам твердения это отношение равно 0,5-0,7. Водостойкость гипсоцементноцеолитового вяжущего (ГЦЦВ) на основе гипса марки Г6 составляет 0,46-0,59. Термоактивация измельченной породы цеолитсодержащего мергеля при температуре 600 °С, а также модификация данного вяжущего двухкомпонентной пластифицирующей добавкой позволяет добиться показателей водостойкости 0,82-0,89 [3]. Вместе с тем, следует отметить, что водостойкость ГЦЦВ обеспечивается при содержании ПЦ не менее 34 %, гипса не более 55 % [4].

Существуют различные методы и приемы, направленные на повышение водостойкости ГЦПВ, которые основаны на уменьшении растворимости сульфата кальция, уплотнении гипсоцементной смеси, пропитке веществами, препятствующими проникновению влаги [5], а также введение в состав гидрофобизирующих добавок [6-7]. Увеличение содержания ПЦ в составе ГЦПВ, применение различных видов АД, введение пластифицирующих и гидрофобизирующих добавок позволяет в известной степени повысить водостойкость ГЦПК.

В последующих работах А.В. Ферронской [8] показана возможность повышения водостойкости ГЦПВ (65:30:5) за счет введения в его состав ПАВ пластифицирующего действия или кремнийорганических соединений. Введение в состав полигидросилоксановой добавки (ГКЖ-94) водноспиритового раствора этилсиликоната натрия (ГКЖ-10) и метилсиликоната натрия (ГКЖ-11) снижает водопоглощение ГЦПК с 27 % до 18-20 %. Введение в смесь ПАВ, снижающих водовязущее отношение, в этом отношении более эффективно, это приводит к повышению плотности и снижению водопоглощения с 27 % до 13-22 %. Поверхностная гидрофобизация бетона на основе ГЦПВ кремнийорганическими жидкостями ГКЖ-10 и ГКЖ-11 снижает его водопоглощение на 50-70 %, а капиллярное всасывание в 1,5-2 раза.

Совместное действие ПД и редеспергируемого полимерного порошка приводит к внутренней гидрофобизации ГЦПК, повышает его прочность и коэффициент размягчения (более 0,85). Следует отметить, что данный результат, достигнут при повышенном содержании ПЦ и АД [9].

Таким образом, анализ данных [1-9] показывает, что водостойкие композиции на основе ГЦПВ в основном получены при повышенном содержании ПЦ и АД в составе смеси, в некоторых случаях это достигается применением гипса с более высокой прочностью. В этой связи особый интерес представляют исследования, направленные на разработку водостойкого ГЦПВ, на основе низкомарочного гипсового вяжущего с пониженным содержанием ПЦ и АД.

Многообразие видов гидрофобизирующих добавок, различных по химическому составу, молекулярной массе, виду радикала [10-15], вызывает необходимость в изучении их влияния на свойства ГЦПВ на основе низкомарочного гипса, особенно в сочетании с пластифицирующими добавками с целью исследования их влияния на водостойкость.

Механизм действия гидрофобизирующих добавок

Согласно ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов», гидрофобизирующие добавки относят к классу добавок, придающих бетонам и растворам специальные свойства. Эффект гидрофобизации заключается в резком снижении способности изделий и материалов смачиваться водой и водными растворами при сохранении паро- и газопроницаемости. Основным признаком гидрофобизирующих добавок – резкая асимметрии их молекул, сбалансированных таким образом, что обеспечивается их ярко выраженная дифильность. Для гидрофобизирующих добавок физическая адсорбция обычно является только первой стадией, за которой следует основная для них хемосорбция. В результате углеводородная неполярная гидрофобизирующая часть молекулы добавки оказывается прочно фиксированной на поверхности твердой фазы [7, 8, 16].

Гидрофобизация отличается весьма экономным расходом материала, поскольку теоретически при применении гидрофобных веществ достаточно образовать адсорбционный слой толщиной всего в одну молекулу. Наибольшее техническое значение имеют высокомолекулярные КОС, в молекулах которых атомы кремния соединены с радикалом метилом, этилом и фенилом. Их преимущество состоит в

способности образовывать на поверхности частиц чрезвычайно тонкие и прочные пленки. Так, например, один грамм диметилдихлорсилана может дать мономолекулярную гидрофобную пленку на поверхности в 1000 м^2 [17].

Целью настоящих исследований является получение водостойкого ГЦПВ на основе низкомарочного гипса при пониженном содержании ПЦ и АМД. Для этого изучено влияние гидрофобизирующих добавок с различными свойствами на реологические и физико-механические свойства ГЦПВ, определено их оптимальное содержание в составе вяжущего, а также изучены особенности взаимодействия с пластифицирующими добавками.

Материалы и методы исследований

В процессе исследований были использованы следующие материалы:

а) вяжущие:

§ гипс марки ГбБП производства ООО «Аракчинский гипс» ГОСТ 125-79;

§ портландцемент Белгородского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н;

б) активная минеральная добавка – метакраолин, выбранная как наиболее эффективная по результатам ранее выполненных исследований [18], удельная поверхность $1357 \text{ м}^2/\text{кг}$;

в) водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732.

г) пластифицирующие добавки определенные как наиболее эффективные для данного состава ГЦПВ в ранее выполненных исследованиях [19]:

§ пластификатор первой группы на основе карбоксилатов «Одолит-К» производства ООО «Сервис-Групп» по ТУ 5745-01-96326574-08, обладает эффектом ускорения схватывания смеси и самоуплотняющим действием, полупрозрачная вязкая жидкость в водном растворе без содержания хлора, плотность – $1,06 \text{ г/см}^3$, рН (при 20°C) – 6,9;

§ пластифицирующая добавка «БЕСТ-ТБ», произведенная ООО «Инновационные Технологии», суперпластификатор первой группы, темно-коричневая жидкость (сополимер на основе эфиров карбоновых кислот с добавлением фосфатного компонента), плотность – $1,24 \text{ г/см}^3$, массовая доля сухого вещества 20-30 %;

д) гидрофобизирующие добавки различные по химическому составу, молекулярной массе, виду радикала и активности:

§ гидрофобизирующая жидкость «Пента[®]-818» произведенная компанией «Пента Ап ITW Company» – вязкотекучая 50 % жидкость, представляющая собой водную эмульсию октилтриэтоксисилана, плотность – 1000 кг/м^3 , содержание активного вещества – 50 %;

§ гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость «ГКЖ-11К» $\text{НО}[\text{CH}_3\text{SiOKO}]_n$ производства ОАО «Химпром» г. Новочебоксарск по ТУ 2229-512-05763441-2007. Представляет собой водный раствор метилсиликоната калия, темно-коричневая жидкость (50 % раствор), плотностью $1,4 \text{ г/см}^3$.

§ гидрофобизирующая жидкость «ГКЖ 136-157М» произведенная ООО «Химпродукт» (Украина) по ТУ У 24.6-23849235-086-2001, представляет собой светло-желтый метилгидросилоксановый полимер без механических примесей с содержанием активного водорода – 1,63 %, имеющая кинематическую вязкость (при 20°C) – 10-80 сСт, рН – 6,5;

§ кремнийорганическое соединение «ГКЖ 136-41» $[\text{C}_2\text{H}_5\text{SiHO}]_n$ произведенное группой компаний «Техпром» г. Волжский по ГОСТ 10834-76 – гидрофобизирующая жидкость, хорошо растворяющаяся в органических растворителях. Бесцветное, прозрачное этилгидридсилоксановое масло с массовой долей кремния – 36,2 %, рН – 7,2, плотность – $0,995 \text{ г/см}^3$, массовая доля активного водорода – 1,37 %;

§ силиконовая эмульсия «ГКЭ-50-94М», произведенная ООО «Химпродукт» (Украина) по ТУ У 24.6-23849235-086-2001 – 50 % водная эмульсия метилгидридсилоксана, белая или светло-серая жидкость, плотность (при 25°C) – $1,02 \text{ г/см}^3$, массовая доля нелетучих веществ – 50 %.

§ гомогенная смесь олигоэтоксисилоксанов «Этилсиликат-40», производства ОАО «Химпром» г. Новочебоксарск по ТУ 2435-427-05763441-2004. Эмпирическая формула: $\text{RO}[-\text{Si}(\text{OR})_2 \text{O}]_m-\text{R}$, $\text{R}=\text{C}_2\text{H}_5$. Прозрачная жидкость, плотность (при 20°C) – $1,06 \text{ г/см}^3$, массовая доля оксида кремния – 41 %, массовая доля тетраэтоксисилана – 12,7 %, массовая доля хлороводорода – 0,02 %, массовая доля этанола – 0,15 %.

§ кремнийорганический лак «КО-916К» производства ОАО «Химпром» г. Новочебоксарск по ТУ 2311-396-05763441-2003 – прозрачная жидкость (50 % раствор) с условной вязкостью 45-65 с;

§ кремнийорганическая жидкость «ФЭС-50» (полифенилэтоксисилоксан) $[C_6H_5Si(OC_2H_5)]_n$, производства ОАО «Химпром» г. Новочебоксарск по ТУ 2257-441-05763441-2005 – коричневая прозрачная жидкость (50 % раствор) с кинематической вязкостью (при 20 ± 2 °С) – 25-150 мм²/с;

§ кремнийорганическая жидкость «N-октилтриэтоксисилан» $C_8H_{17}Si(OC_2H_5)_3$ производства компании «Dow Corning» – представляет собой прозрачную жидкость с относительной плотностью (при 25 °С) – 0,875 г/см³; чистота – 98 %; содержание летучих органических составляющих – 329 г/л;

§ кремнийорганический состав на органическом растворителе «Типром[®]М» производства ЗАО «САЗИ» Московская обл. по ТУ 2229-100-32478306-2003 – темно-коричневая жидкость с наличием небольшого количества механических примесей; плотность при 25°С – 0,76 г/см³;

§ кремнийорганическая жидкость «Типром[®]С» – представляет собой 55 % концентрат на основе алкилсиликоната калия, производства ЗАО «САЗИ» Московская обл. по ТУ 2229-069-32478306-2003 / СТО 069-32478306-2014 – темно-коричневая жидкость с наличием небольшого количества механических примесей; плотность при 25°С – 0,83 г/см³;

§ кремнийорганическое соединение «Dow Corning[®] МН 1107» производства компании «Dow Corning», представляет собой полиметилгидридсилоксан – бесцветная жидкость; плотность при 25°С – 1,002 г/см³; вязкость при 25°С – 20 мм²/с; кислотное число – 0,01; содержание активного вещества – 100 %.

§ кремнийорганический суперконцентрат «Типром[®]Д» производства ЗАО «САЗИ» Московская обл. по ТУ 2229-070-32478306-2003;

§ гидрофобизатор кремнийорганический «Типром[®]У» с эффектом глубокого проникновения производства ЗАО «САЗИ» Московская обл. по ТУ 2229-112-32478306-2004, представляет собой смесь силанов и силоксанов в органическом растворителе;

§ водный раствор акрилового сополимера «Протект Гард», представляющий собой водорастворимую, невозгораемую, бесцветную жидкость; рН: $6,5 \pm 0,5$; температура кипения – 100 °С; плотность при 20 °С – 1,0 г/см²;

§ водный раствор акрилового сополимера «Протект Гард ФТ», представляющий собой вязкую, невозгораемую, тиксотропную жидкость; рН 12; плотность при 20°С – 1,1 г/см²;

Испытания по определению нормальной густоты и сроков схватывания ГЦПВ проводили согласно ГОСТ 23789-79, исследование физико-механических свойств проводились на стандартных образцах-балочках размерами 4x4x16 см, из формовочной смеси нормальной густоты по методике, описанной в ГОСТ 23789-79. Оценка водостойкости проводили по величине коэффициента размягчения, равного отношению предела прочности при сжатии образцов в сухом состоянии к пределу прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии. В качестве образцов использовали половинки балочек, водонасыщение производили в течение 24 ч.

1. Влияние ряда водорастворимых и водонерастворимых гидрофобизирующих добавок на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего

Поверхностную гидрофобизацию ГЦПК производили однократной пропиткой исследуемыми кремнийорганическими составами, их влияние на среднюю плотность образцов, пределы прочности при сжатии и коэффициент размягчения ГЦПК приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, поверхностная гидрофобизация в зависимости от вида гидрофобизирующей добавки незначительно увеличивает среднюю плотность изделий (на 1-13,4 %), их предел прочности при сжатии (на 34 %), при этом позволяет существенно повысить коэффициент размягчения (на 59,2 %), что по нашему мнению обусловлено образованием кальциевых солей кремнийорганических соединений, коагулирующих поры. Однако, свойства данных изделий не позволяют отнести их к водостойким материалам, т.к. коэффициент размягчения не превышает 0,8.

Таблица 1

**Влияние гидрофобизирующих добавок на физико-механические свойства ГЦПК
при поверхностном способе гидрофобизации**

№	Вид гидрофобизирующей добавки	Средняя плотность, г/см ³	R _{сж} , Мпа	Кр
1	-	1,42	21,7	0,49
2	Типром [®] М	1,50	24,1	0,78
3	Типром [®] Д	1,45	23,3	0,58
4	Типром [®] У	1,44	21,9	0,64
5	Типром [®] С	1,42	21,9	0,77
6	Протект Гард	1,43	22,3	0,53
7	Протект Гард ФТ	1,43	22,8	0,54
8	ФЭС-50	1,61	29,1	0,65
9	ГКЖ-11К	1,46	24,0	0,59

Таблица 2

**Влияние гидрофобизирующих добавок на реологические свойства ГЦПК
при объемном способе гидрофобизации**

№	Вид гидрофобизирующей добавки	Кол-во добавки, %	НГ	Сроки схватывания, мин	
				Начало	Конец
1	Контрольный	-	0,53	7,5	10
2	ФЭС-50	0,1	0,47	10	12
		0,15	0,49	9	11
		0,2	0,49	8	10
3	Типром [®] М	0,1	0,49	9,5	12
		0,15	0,49	9,5	11,5
		0,2	0,49	9	11,5
4	Типром [®] С	0,1	0,48	6,5	9
		0,15	0,48	6	9
		0,2	0,48	6	8,5
5	ГКЖ-11К	0,1	0,52	7	8
		0,2	0,52	6,5	8
		0,3	0,52	6	7
6	ГКЭ-50-94М	0,1	0,6	4	5
		0,2	0,59	4	5
		0,3	0,59	4	5
7	Кремнийорганический лак «КО-916К»	0,1	0,57	3,5	4
		0,2	0,57	4	4,5
		0,3	0,59	4,5	5,5
8	Пента [®] -818	0,1	0,56	5,5	6,5
		0,2	0,57	5,5	6,5
		0,3	0,57	6	8
9	ГКЖ 136-157М	0,1	0,55	6,5	9
		0,2	0,57	8	10,5
		0,3	0,58	12	14,5
10	Этилсиликат-40	0,1	0,54	6	7,5
		0,2	0,56	5	6
		0,3	0,57	5	6
11	N-Октилтриэтоксисилан	0,1	0,56	5	6
		0,2	0,56	5,5	6,5
		0,3	0,56	6	7
12	ГКЖ 136-41	0,1	0,57	6	7
		0,2	0,57	7,5	10
		0,3	0,57	9	12
13	Dow Corning [®] МН 1107	0,1	0,57	6	8
		0,2	0,57	9	10,5
		0,3	0,56	9,5	12,5

Для объемной гидрофобизации в состав композиционного вяжущего вводили гидрофобизирующие добавки в количестве 0,1-0,3 % от массы вяжущего, их влияние на реологические свойства гипсоцементно-пуццолановой смеси (ГЦПС) приведено в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что введение большинства исследуемых гидрофобизирующих добавок в ГЦПВ приводит к увеличению водопотребности смеси. Так в зависимости от количества добавки в составе смеси «ГКЭ-50-94М» увеличивает водопотребность на 11,3-13,2 %, кремнийорганический лак «КО-916К» – на 7,5-11,3 %, «Пента[®]-818» – на 5,7-7,5 %, «ГКЖ 136-157М» – на 3,8-9,4 %, «Этилсиликат-40» – на 1,9-7,5 %, «N-октилтриэтоксисилан» – на 5,7 %, «ГКЖ 136-41» – на 7,5 %, «Dow Corning[®] МН 1107» – на 5,7-7,5 %.

Также из табл. 2 видно, что исследуемые гидрофобизирующие добавки незначительно влияют на сроки схватывания ГЦПВ. Так гидрофобизирующие добавки «ФЭС-50», «Типром[®]М», «ГКЖ 136-157М», «ГКЖ 136-41», «Dow Corning[®] МН 1107» удлиняют сроки начала и конца схватывания на 0,5-4,5 мин. Остальные добавки, из числа исследуемых, приводят к незначительному сокращению сроков схватывания ГЦПВ.

Влияние гидрофобизирующих добавок на среднюю плотность образцов, пределы прочности при изгибе и сжатии и коэффициент размягчения ГЦПК при объемном способе гидрофобизации приведено в табл. 3.

Таблица 3

Влияние гидрофобизирующих добавок на физико-механические свойства ГЦПК при объемном способе гидрофобизации

№	Вид гидрофобизирующей добавки	Кол-во добавки, %	Ср. пл, г/см ³	R _{изг} , М _{па}	R _{сж} , М _{па}	K _p
1	Контрольный	-	1,42	10,5	27,1	0,49
2	ФЭС-50	0,1	1,43	10,7	32,2	0,5
		0,15	1,43	12,5	35,0	0,53
		0,2	1,43	12,6	35,7	0,55
3	Типром [®] М	0,1	1,41	12,3	35,7	0,45
		0,15	1,4	11,6	33,8	0,44
		0,2	1,38	10,5	31,4	0,43
4	Типром [®] С	0,1	1,44	13,0	39,4	0,55
		0,15	1,41	12,2	32,6	0,45
		0,2	1,39	12,1	30,9	0,41
5	ГКЖ-11К	0,1	1,32	10,8	22,0	0,62
		0,2	1,32	10,9	23,3	0,76
		0,3	1,32	11,4	26,4	0,78
6	ГКЭ-50-94М	0,1	1,28	12,2	36,4	0,49
		0,2	1,22	10,5	35,1	0,48
		0,3	1,2	9,2	30,9	0,48
7	Кремнийорганический лак «КО-916К»	0,1	1,29	11,2	27,9	0,53
		0,2	1,26	10,1	25,6	0,50
		0,3	1,26	8,7	22,4	0,44
8	Пента [®] -818	0,1	1,59	12,2	31,1	0,89
		0,2	1,54	11,9	29,1	0,89
		0,3	1,51	11,1	28,9	0,85
9	ГКЖ 136-157М	0,1	1,5	10,9	27,3	0,86
		0,2	1,32	7,3	19,6	0,73
		0,3	1,24	6,1	15,8	0,61
10	Этилсиликат-40	0,1	1,56	11,5	31,4	0,92
		0,2	1,55	9,7	28,7	0,90
		0,3	1,53	9,0	28,2	0,86
11	N-Октилтриэтоксисилан	0,1	1,5	8,6	29,4	0,81
		0,2	1,53	10,6	29,9	0,95
		0,3	1,5	9,5	22,1	0,88
12	ГКЖ 136-41	0,1	1,26	8,5	19,6	0,76
		0,2	1,26	7,8	13,9	0,63
		0,3	1,33	6,3	11,9	0,58
13	Dow Corning [®] МН 1107	0,1	1,35	8,8	21,3	0,69
		0,2	1,29	8,7	19,0	0,62
		0,3	1,2	7,2	15,4	0,61

Как видно из табл. 3, большая часть исследуемых добавок при введении в состав КВ приводит к снижению средней плотности образцов, в связи с воздухововлечением, однако гидрофобизирующие добавки «Этилсиликат-40», «N-октилтриэтоксисилан», «Пента[®]-818» приводят к незначительному увеличению плотности на 5,6-12 %.

Исследуемые гидрофобизирующие добавки оказывают различное влияние на физико-механические свойства ГЦПВ. Так добавки «ФЭС-50», «Типром[®]М», «Типром[®]С», «ГКЭ-50-94М», кремнийорганический лак «КО-916К» в зависимости от их содержания в составе ГЦПВ приводят к росту пределов прочности при изгибе и сжатии на 0,1-23,8 % и 3-45,4 % соответственно. Однако использование этих добавок в составе ГЦПВ не приводит к желаемому результату по повышению водостойкости образцов. Гидрофобизирующие добавки «ГКЖ-11К», «ГКЖ 136-41», «Dow Corning[®] МН 1107», «Пента[®]-818», «ГКЖ 136-157М», «Этилсиликат-40», «N-октилтриэтоксисилан» в большинстве случаев снижают показатели пределов прочности при изгибе и сжатии. Однако их применение позволяет значительно повысить водостойкость образцов, что выражается в увеличении коэффициента размягчения. Наилучшие показатели были достигнуты при использовании гидрофобизирующих добавок «Этилсиликат-40», «Пента[®]-818», «N-октилтриэтоксисилан», применение которых, в зависимости от содержания в составе смеси, приводит к увеличению коэффициента размягчения на 63,3-93,9 %. Эти добавки были выбраны для дальнейших исследований.

2. Разработка комплексной добавки

Анализ результатов исследований и применения комплексных добавок (КД) для модификации различных вяжущих показывает их полифункциональность – способность влиять на несколько характеристик изделий, существенно усилить какой-либо эффект, предельно достигаемый при введении однокомпонентной добавки и резко уменьшить или полностью устранить нежелательное побочное действие каждой составляющей КД.

Таблица 4

Влияние КД на реологические и физико-механические свойства ГЦПВ

№	Состав	Концентрация компонентов	НГ	Сроки схватывания, мин		Ср. пл., г/см ³	R _{изг} , МПа	R _{сж} , МПа	K _p
				Начало	Конец				
1	Контрольный	–	0,53	7,5	10	1,42	10,5	21,7	0,49
2	Пента [®] -818 Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,5	0,33	23	24,5	1,8	14,4	40,1	0,93
3	Пента [®] -818 Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,35	0,31	13,5	14	1,83	17,4	45,8	0,97
4	Этилсиликат-40 Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,5	0,32	21	22	1,81	17,0	40,8	0,98
5	Этилсиликат-40 Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,35	0,31	15,5	16	1,84	17,9	48,9	0,93
6	Этилсиликат-40 Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,25	0,31	13	14	1,86	18,8	49,7	0,92
7	N-октилтриэтоксисилан Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,5	0,32	20,5	21	1,87	19,5	55,9	0,99
8	N-октилтриэтоксисилан Одолит-К Бест-ТБ	0,1 1,5 0,25	0,31	8	9	1,82	14,4	49,2	0,91

В данной работе действие разрабатываемой КД направлено на повышение водостойкости изделий с одновременным повышением их конечной прочности, удлинением сроков схватывания смеси и придание самоуплотняющейся способности. Для этого, по результатам предыдущих исследований [20], в качестве компонентов КД были приняты наиболее эффективные виды гидрофобизирующих добавок («Этилсиликат-40», «Пента[®]-818», «N-октилтриэтоксисилан») и пластифицирующих («Одолит-К» и «Бест-ТБ»). КД готовилась путем смешивания компонентов в необходимых соотношениях. Результаты влияния КД на реологические и физико-механические свойства ГЦПВ приведены в табл. 4.

Как видно из табл.4, при взаимодействии исследуемых компонентов КД наблюдается синергетический эффект, который позволяет значительно повысить коэффициент размягчения, что позволяет отнести готовые изделия к водостойким, с одновременным увеличением физико-механических характеристик ГЦПВ и удлинением сроков схватывания смеси [21-23]. Получены образцы ГЦПК со следующими характеристиками: предел прочности при сжатии – 55,9 МПа, предел прочности при изгибе – 19,5 МПа, коэффициент размягчения – 0,99.

Выводы

1. Установлено, что наиболее эффективными для поверхностной гидрофобизации ГЦПК являются кремнийорганический состав на органическом растворителе «Типром[®]М» и кремнийорганическое соединение «ФЭС-50» (полифенилэтоксисилоксан) $[C_6H_5Si(OC_2H_5)]_n$, позволяющие повысить предел прочности при сжатии на 34 %, коэффициент размягчения – на 95 %. Однако, свойства данных изделий не позволяют отнести их к водостойким материалам, т.к. коэффициент размягчения не превышает 0,8.

2. Наиболее эффективными для объемной гидрофобизации ГЦПВ на основе низкомарочного ГВ являются гомогенная смесь олигоэтоксисилоксанов «Этилсиликат-40» $(RO-[Si(OR)_2O]_m-R, R=C_2H_5)$, водная эмульсия октилтриэтоксисилана «Пента[®]-818» (содержание активного вещества – 50 %), кремнийорганическое соединение «N-октилтриэтоксисилан» $C_8H_{17}Si(OC_2H_5)_3$, позволяющие повысить предел прочности при сжатии ГЦПК на 44,7 %, предел прочности при изгибе – на 9,5 %, коэффициент размягчения – на 63,3-93,9 %.

3. Разработанная полифункциональная КД на основе ПД и ГД позволяет повысить комплекс основных свойств ГЦПК. Так, предел прочности при сжатии увеличивается в 2,57 раза, предел прочности при изгибе – на 86 %, коэффициент размягчения – в 2,02 раза. Получены образцы ГЦПК со следующими характеристиками: предел прочности при сжатии – 55,9 МПа, предел прочности при изгибе – 19,5 МПа, коэффициент размягчения – 0,99.

Таким образом, полученные изделия на основе низкомарочного ГВ с относительно не большим содержанием ПЦ (20 %) и АМД (4 %), обладают высокими прочностными характеристиками и водостойкостью. Использование комплексной добавки позволяет получить самоуплотняющуюся гипсоцементно-пуццолановую композицию и увеличить время ее жизнеспособности.

Список библиографических ссылок

1. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. – М.: 1971. – 318 с.
2. Волженский А.В., Роговой М.И., Стамбулко В.И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие и изделия. – М.: 1960. – 168 с.
3. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Высокопрочное гипсоцементноцеолитовое вяжущее // Строительные материалы, 2010, № 2. – С. 53-55.
4. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Ильичева О.М. Деформации высокопрочного композиционного гипсового вяжущего при твердении // Вестник ЮУрГУ, 2010, № 15. – С. 51-53.
5. Волженский А.В., Коган Г.С., Арбузов Н.Т. Гипсобетонные панели для перегородок и внутренней облицовки наружных стен. – М.: 1955. – 185 с.

6. Батраков В.Г. Повышение долговечности бетона добавками кремнийорганических полимеров. – М.: Стройиздат, 1968. – 134 с.
7. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобизирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 125 с.
8. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
9. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Повышение водостойкости гипсового вяжущего // Строительные материалы, 2012, № 7. – С. 20-22.
10. Гильфанов Р.М., Вдовин Е.А., Мавлиев Л.Ф. Оптимизация состава цементогрунта с комплексной добавкой на основе кремнийорганических соединений // Известия КГАСУ, 2014, № 4. – С. 262-267.
11. Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Исследование влияния кремнийорганических соединений на свойства фиброцементных плит // Известия КГАСУ, 2011, № 4. – С. 254-259.
12. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н., Яворский А.А., Мордвина Е.Н. Гидрофобизация, как способ увеличения объемов потребления гипса в строительстве // Сухие строительные смеси, 2014, № 1. – С. 9-11.
13. Ферронская А.В. Гипсовые материалы и изделия. Производство и применение. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.
14. Вдовин Е.А., Мавлиев Л.Ф. Повышение качества укрепленных грунтов введением гидрофобизирующих добавок // Известия КГАСУ, 2012, № 4 (22). – С. 373-377.
15. Соболевский М.В., Музовская М.В., Соболевский О.А., Попелева Г.С. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов. – М.: Химия, 1975. – 256 с.
16. Ратинов В.Б., Иванов Ф.М. Химия в строительстве. – М.: Стройиздат, 1977. – 220 с.
17. Марков Л.А. Улучшение свойств грунтов поверхностно-активными и структурообразующими веществами. – М.: Автотрансиздат, 1963. – 176 с.
18. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы, 2015, № 5. – С. 20-23.
19. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Комплексная добавка для повышения эффективности гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы, 2016, № 8. – С. 70-73.
20. Комплексная добавка: пат. 2519313 Рос. Федерация. № 2013103948/03; заявл. 29.01.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16. – 5 с.
21. Способ приготовления гипсоцементно-пуццоланового вяжущего: пат. 2550630 Рос. Федерация. № 2014114814/03; заявл. 14.04.2014; опубл. 10.05.2015. Бюл. № 13. – 7 с.
22. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой композиции: пат. 2552274 Рос. Федерация. № 2014114815/03; заявл. 14.04.2014; опубл. 10.06.2015. Бюл. № 16. – 7 с.
23. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой смеси: пат. 2551176 Рос. Федерация. № 2014114813/03; заявл. 14.04.2014; опубл. 20.05.2015. Бюл. № 13. – 7 с.

Galautdinov A.R. – assistant

E-mail: galautdinov89@mail.ru

Mukhametrakhimov R.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Increase of water resistance of gypsum cement-pozzolan binder based on low-strength gypsum

Rusume

The low water resistance of gypsum-cement-puzzolan binder based on low-braned gypsum with a low content of portland cement and active mineral additives limits its wide use

in construction, as a result applying of bonding material with increased consumption of portland cement and active mineral additives is more dominate method. It is shown that one of the most effective ways to improve the water resistance of gypsum cement pozzolanic-based products which are made of the low-grade gypsum is a volume and surface hydrophobicity. In this scientific work, the effect of a number of water-soluble and water-insoluble hydrophobic additives on the rheological and mechanical properties, to determine their optimal content in the mixture was studied at the first stage. In the second stage features the combined action of hydrophobic and plasticizing additives were set, complex additives of multifunctional action was developed and patented.

It was found that the most effective for the surface-hydrophobic gypsum cement pozzolanic stones are silicone composition to an organic solvent «Tiprom[®]M» and organic silicon compound «FES-50» (polyphenylethoxysiloxan) $[C_6H_5Si(OC_2H_5)]_n$ allowing to increase the compressive strength at 34 %, the softening rate – 95 %.

The most effective for bulk hydrophobic gypsum cement-pozzolan binder based on low-grade gypsum are homogeneous mixture of oligoethoxysiloxan «Ethyl silicate-40» (RO-[-Si(OR)₂O-]m-R, R=C₂H₅), water emulsion of octyltriethoxysilane «Penta[®]-818» organosilicon compound «N-octyltriethoxysilane» C₈H₁₇Si(OC₂H₅)₃, allowing to increase the compressive strength of gypsum cement-pozzolan brick by 44,7 %, flexural strength – by 9,5 %, softening factor – on 63,3-93,9 %. The developed multifunctional complex additive improves the compressive strength of 2,57 times, the flexural strength – 86 %, softening coefficient – 2,02 times. The samples of the following characteristics: compressive strength – 55,9 MPa, flexural strength – 19,5 MPa, softening coefficient – 0,99 – were obtained.

Keywords: gypsum cement-pozzolan binder, water resistance, water-repellency, the complex additive.

Reference list

1. Volzhenskij A.V., Stambulko V.I., Ferronskaja A.V. Gypsum cement-pozzolan binders, concrete and products. – M.: 1971. – 318 p.
2. Volzhenskij A.V., Rogovoj M.I., Stambulko V.I. Gypsum cement and gypsum slag binders and products. – M.: 1960. – 168 p.
3. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G. High strength gypsum cement gypsum-zeolite binder // *Stroitel'nye Materialy*, 2010, № 2. – P. 53-55.
4. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G., Ilichyova O.M. Deformations of high-strength composition of gypseous binding during maturing // *Vestnik YuUrGU*, 2010, № 15. – P. 51-53.
5. Volzhenskij A.V., Kogan G.S., Arbuzov N.T. Gypsum concrete panels for walls and interior cladding of external walls. – M.: 1955. – 185 p.
6. Batrakov V.G. Increasing durability of concrete with additives of silicone polymers. – M.: Stroyizdat, 1968. – 134 p.
7. Higerovich M.I., Bayer V.E. Hydrophobic additives for cements, mortars and concretes. – M.: Stroyizdat, 1979. – 125 p.
8. Ferronskaja A.V. The durability of gypsum materials, products and structures. – M.: Stroyizdat, 1984. – 256 p.
9. Potapova E.N., Isaeva I.V. Improving water resistance of gypsum binder // *Stroitel'nye Materialy*, 2012, № 7. – P. 20-22.
10. Gilfanov R.M., Vdovin E.A., Mavliev L.F. Optimization of cement soil with complex additive on the basis of silicone compounds // *Izvestija KGASU*, 2014, № 4. – P. 262-267.
11. Muhametrahimov R.Kh., Izotov V.S. Investigation of the effect of silicone compounds on the properties of fiber cement boards // *Izvestija KGASU*, 2011, № 4. – P. 254-259.
12. Vojtovich V.A., Hryapchenkova I.N., Yavorskiy A.A., Mordvina E.N. Waterproofing as a way to increase the volume of consumption of gypsum in building // *Suhie stroitel'nye smesi*, 2014, № 1. – P. 9-11.
13. Ferronskaya A.V. Gypsum materials and products. Production and use. – M.: Publishers ASV, 2004. – 488 p.

14. Vdovin E.A., Mavliev L.F. Improving the quality of reinforced soils by introducing hydrophobic additives // *Izvestija KGASU*, 2012, № 4 (22). – P. 373-377.
15. Sobolevskij M.V., Muzovskaja M.V., Sobolevskij O.A., Popeleva G.S. Properties and applications of silicone products. – M.: Himija, 1975. – 256 p.
16. Ratinov V.B., Ivanov F.M. Chemistry building. – M.: Stroyizdat, 1977. – 220 p.
17. Markov L.A. Improving the properties of soil by surface-active and nucleating agents. – M.: Avtotransizdat, 1963. – 176 p.
18. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Investigation of the effect of active mineral admixtures on the rheological and mechanical properties of gypsum cement-pozzolan binder // *Stroitel'nye Materialy*, 2015, № 5. – P. 20-23.
19. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Complex additive for improving the efficiency of gypsum cement-pozzolan binder // *Stroitel'nye Materialy*, 2016, № 8. – P. 70-73.
20. Complex additive: patent 2519313 of the Russian Federation. № 2013103948/03; It is declared 29.01.2013; It is published 10.06.2014. The bulletin № 16. – 5 p.
21. A method of preparing gypsum cement-pozzolan binder: patent 2550630 of the Russian Federation. № 2014114814/03; It is declared 14.04.2014; It is published 10.05.2015. The bulletin № 13. – 7 p.
22. A method of preparing gypsum cement-pozzolan composition: patent 2552274 of the Russian Federation. № 2014114815/03; It is declared 14.04.2014; It is published 10.06.2015. The bulletin № 16. – 7 p.
23. A method of preparing gypsum cement-pozzolan mixture: patent 2551176 of the Russian Federation. № 2014114813/03; It is declared 14.04.2014; It is published 20.05.2015. The bulletin № 13. – 7 p.