

<sup>1</sup>Ерофеев В.Т., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,<sup>2</sup>Фомичев В.Т., д-р техн. наук, проф.,<sup>1</sup>Емельянов Д.В., канд. техн. наук,<sup>3</sup>Фишер Х.-Б., доктор-инженер,<sup>4</sup>Матвиевский А.А., канд. техн. наук,<sup>1</sup>Коротаев С.А., канд. техн. наук, доц.,<sup>1</sup>Булычев А.А., магистрант<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева<sup>2</sup>Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет<sup>3</sup>Веймарский строительный университет (Германия)<sup>4</sup>ОАО «Максмир»

## ГИПСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ

korotaevc@yandex.ru

Низкая водостойкость строительных материалов на основе гипсовых вяжущих ограничивает область их применения. В статье приведены результаты исследований, направленных на получение гипсовых материалов с повышенными физико-механическими характеристиками с использованием активированной воды затворения. Показана возможность получения гипсовых композитов с повышенной прочностью и водостойкостью на воде затворения, активированной путем последовательной обработки электромагнитным полем и электрическим током с применением установки магнитной противонакипной обработки. Получены количественные зависимости сроков схватывания гипсового теста, прочности и водостойкости гипсовых композитов от режимов активации воды затворения. Разработанный способ получения гипсовых материалов на основе активированной воды затворения позволяет улучшить экономические показатели производства.

**Ключевые слова:** активированная вода затворения, гипсовый камень, прочность, водостойкость.

**Введение.** Строительные материалы и изделия на основе гипсовых вяжущих находят широкое применение. Изделия из гипса получают из смеси гипса и воды, т.е. из смеси гипсового теста, так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют гипсовыми, во втором – гипсобетонными. Наибольшее распространение получили гипсовые панели и плиты для перегородок, гипсокартон, вентиляционные блоки и другие гипсовые и гипсобетонные изделия. Характеризуются быстрым набором прочности, малой тепло- и звукопроводимостью, высокой декоративностью и комфортностью, экологической безопасностью, экономичностью и технологичностью. В зависимости от назначения для изготовления изделий в качестве вяжущего используют строительный или высокопрочный гипс. Водостойкие гипсоцементно-пуццолановые смеси, а также ангидритовые цементы.

Улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств, достижение экономического и экологического эффекта возможно за счет применения при создании композиционных строительных материалов на основе неорганических вяжущих различных видов активации компонентов [1–5]. В работах [6–13] показано улучшение физико-технических и эксплуатаци-

онных свойств цементных материалов на основе электрохимически и электромагнитно-активированной воды затворения. Представляет интерес проведение исследований гипсовых материалов на основе модифицированного компонента - активированной воды затворения.

**Методология.** При выполнении экспериментальных исследований активация питьевой водопроводной воды проводилась путем последовательной обработки электромагнитным полем и электрическим током с применением установки магнитной противонакипной обработки УПОВС2-5.0 «Максмир». Обработка проводилась по девяти режимам, шифр которых составлен из буквенного и цифрового обозначения. Буквенное обозначение "Э+М" означает, что природная вода была подвержена совместной последовательной активации электрическим током (электрохимическая активация) и электромагнитным полем в рабочих зазорах аппарата. Цифровое обозначение соответствует выбранному режиму работы аппарата, которое характеризует силу тока (позицию переключателя) в цепи электролизера и обмотке намагничивающих катушек.

**Основная часть.** При обработке воды в камере электрохимической активации использо-

вался алюминиевый анод. Используемые режимы и их параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1

### Режимы активации воды и водных растворов

Режим активации	Плотность эл. тока $j_{\max}$ , А/м <sup>2</sup>	Напряженность электромагнитного поля $H_{\max}$ , кА/м
Э+М (1-1)	5,65	24
Э+М (1-3)	5,65	75
Э+М (1-6)	5,65	135
Э+М (3-1)	22,58	24
Э+М (3-3)	22,58	75
Э+М (3-6)	22,58	135
Э+М (6-1)	43,55	24
Э+М (6-3)	43,55	75
Э+М (6-6)	43,55	135

Были проведены исследования гипсового теста и затвердевших материалов. В качестве исследуемых параметров гипсового теста, полученного с применением активированной воды затворения, рассматривались нормальная плотность (НГ) и сроки схватывания. Исследуемые свойства гипсового теста в зависимости от вида применяемой воды определяли по общепринятой методике. Для каждой серии составов изготавливался контрольный состав на неактивированной воде. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что практически все режимы активации воды способствуют ускорению начала схватывания гипсового теста. Причем данное

воздействие наиболее эффективно проявляется при режимах Э+М (1-1), Э+М (1-3) и Э+М (1-6). Активация воды затворения ускоряет не только начало схватывания, но и его конец.

Учитывая, что в современных условиях гипсовые композиты изготавливаются с применением модифицирующих добавок, определены сроки схватывания гипсового теста в зависимости от вида применяемой воды. В качестве модифицирующей добавки была использована пластифицирующая добавка Melment F10, которую вводили в количестве 1 % от массы гипса. Для каждой серии составов изготавливался контрольный состав на неактивированной воде. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 2

### Свойства гипсового теста на основе активированной воды затворения

Тип воды	НГ	Сроки схватывания, мин : с	
		начало	конец
«О»	0,54	6 : 45	9 : 00
Э+М (1-1)	0,53	3 : 15	5 : 30
Э+М (1-3)	0,52	3 : 40	6 : 00
Э+М (1-6)	0,52	3 : 15	5 : 15
Э+М (3-1)	0,53	5 : 45	6 : 45
Э+М (3-3)	0,51	5 : 20	6 : 25
Э+М (3-6)	0,50	5 : 00	5 : 45
Э+М (6-1)	0,52	4 : 45	6 : 20
Э+М (6-3)	0,50	5 : 30	7 : 10
Э+М (6-6)	0,49	4 : 00	4 : 45

Из результатов исследований следует, что использование активированной воды способствует снижению водопотребности гипсовых композиций. Активация воды существенным образом также повлияла на сроки схватывания модифицированного гипсового теста. Особенно

данный эффект проявился на режимах: Э+М (3-1), Э+М (3-3), Э+М (3-6), Э+М (6-1), Э+М (6-3), Э+М (6-6), что свидетельствует о претерпевании структурных и физико-механических изменений в активированной воде затворения.

Таблица 3

**Свойства гипсового теста на основе активированной воды затворения с добавкой пластификатора**

Тип воды	НГ	Сроки схватывания, мин : с	
		начало	конец
«О»	0,44	4 : 40	7 : 00
Э+М (1-1)	0,43	4 : 20	5 : 50
Э+М (1-3)	0,43	4 : 00	5 : 15
Э+М (1-6)	0,42	4 : 00	5 : 00
Э+М (3-1)	0,42	3 : 20	4 : 10
Э+М (3-3)	0,42	3 : 40	4 : 05
Э+М (3-6)	0,41	3 : 30	4 : 15
Э+М (6-1)	0,42	3 : 30	4 : 10
Э+М (6-3)	0,42	3 : 45	4 : 00
Э+М (6-6)	0,40	3 : 40	4 : 15

На втором этапе проведены исследования, направленные на установление влияния типа воды на прочность гипсового камня. Были изготовлены образцы-балочки размером 4×4×16 см, которые твердели в нормальных температурно-

влажностных условиях. Контролируемыми параметрами служили показатели прочности составов при сжатии и изгибе, которые определяли для материалов в возрасте 1 суток твердения (табл. 4).

Таблица 4

**Физико-механические свойства гипсовых композитов на основе активированной воды затворения**

Шифр воды	Предел прочности на растяжение при изгибе, кг/м <sup>2</sup>	Относительная прочность на растяжение при изгибе, %	Предел прочности на сжатие, кг/м <sup>2</sup>	Относительная прочность на сжатие, %
«О»	31,2	0	70,1	0
Э+М (1-1)	34,3	+9,9	71,8	+2,4
Э+М (1-3)	35,1	+12,5	84,9	+21,1
Э+М (1-6)	37,9	+21,5	78,8	+12,4
Э+М (3-1)	33,4	+7,1	77,1	+10,0
Э+М (3-3)	37,6	+20,5	83,6	+19,3
Э+М (3-6)	41,7	+33,6	91,7	+30,8
Э+М (6-1)	36,3	+16,3	88,9	+26,8
Э+М (6-3)	54,7	+75,3	167,7	+139
Э+М (6-6)	36,7	+17,6	158,6	+126

Анализ исследований влияния вида активированной воды на рост прочности гипсового камня показал, что наиболее эффективным является применение воды обработанной аппаратом по режимам Э+М (6-3) и Э+М (6-6). Прочность гипсового камня с применением воды затворения, приготовленной по указанным режимам активации по сравнению с контрольными образцами оказалась выше более чем на 139 % и 126 %, соответственно.

Для определения физико-механических свойств модифицированных гипсовых композитов в зависимости от вида применяемой воды была использована пластифицирующая добавка Melment F10, которую вводили в количестве 1 % от массы гипса. Для каждой серии составов изготавливался контрольный состав на неактивированной воде. Результаты исследований представлены в таблице 5.

Анализ исследований влияния вида активированной воды на рост прочности гипсового

камня показал, что активация благоприятным образом влияет на прочность гипсового камня в присутствии пластифицирующей добавки Melment F10.

Для композитов на основе гипсовых связующих важным свойством является коэффициент размягчения. Водостойкость гипсового камня на основе активированной воды затворения представлена в таблице 6.

Таблица 5

**Физико-механические свойства гипсовых композитов на основе активированной воды затворения с применением пластифицирующей добавки Melment F10**

Шифр воды	Предел прочности на растяжение при изгибе, кг/м <sup>2</sup>	Относительная прочность на растяжение при изгибе, %	Предел прочности на сжатие, кг/м <sup>2</sup>	Относительная прочность на сжатие, %
«О»	34,7	0	76,3	0
Э+М (1-1)	36,4	+4,9	90,8	+19,0
Э+М (1-3)	41,3	+19,0	113,4	+48,6
Э+М (1-6)	40,5	+16,7	117,1	+53,5
Э+М (3-1)	39,3	+13,3	95,4	+25,0
Э+М (3-3)	38,4	+10,7	105,7	+38,5
Э+М (3-6)	33,8	-2,6	100,5	+31,7
Э+М (6-1)	40,2	+15,8	111,0	+45,5
Э+М (6-3)	50,9	+46,7	118,2	+54,9
Э+М (6-6)	40,3	+16,0	93,8	+22,9

Таблица 6

**Водостойкость гипсовых композитов на основе активированной воды затворения**

№ п/п	Шифр воды	Коэффициент размягчения при изгибе $K_{\text{разм изг.}}$ , ед.	Коэффициент размягчения при сжатии $K_{\text{разм сж.}}$ , ед.
1	«О»	0,31	0,30
2	Э+М (1-1)	0,54	0,38
3	Э+М (1-3)	0,49	0,46
4	Э+М (1-6)	0,42	0,43
5	Э+М (3-1)	0,48	0,47
6	Э+М (3-3)	0,66	0,50
7	Э+М (3-6)	0,50	0,39
8	Э+М (6-1)	0,36	0,45
9	Э+М (6-3)	0,50	0,45
10	Э+М (6-6)	0,49	0,46

Результаты исследования показывают положительную тенденцию применения активированной воды затворения с целью получения более долговечных композитов. Водостойкость гипсовых композитов на такой воде выше, чем у композитов на обычной воде.

Таким образом, активированная вода значительно улучшает технологические и физико-

механические свойства гипсовых композитов, что в конечном итоге положительно сказывается на экономичности и экологичности производства.

**Выводы.**

1. В ходе проведения исследований, направленных на получение гипсовых материалов с повышенными физико-механическими ха-

раактеристиками, предложена технологическая обработка воды путем последовательной обработки электрическим током и электромагнитным полем с применением установки магнитной противонакипной обработки.

2. Получены количественные зависимости сроков схватывания гипсового теста, прочности и водостойкости гипсовых композитов от режимов активации воды затворения.

3. Все режимы активации воды затворения способствуют ускорению сроков начала и конца схватывания гипсового теста.

4. Полученные результаты показали положительное влияние активации воды затворения на прочность и водостойкость гипсовых композитов. Прочность на сжатие гипсового камня, полученного на основе активированной воды затворения при осуществлении обработки при оптимальных плотности тока в камере электрохимической активации  $j_{\max} = 43,55 \text{ А/м}^2$  и напряженности электромагнитного поля  $H_{\max} = 75 \text{ кА/м}$  и  $H_{\max} = 135 \text{ кА/м}$ , выше прочности контрольных образцов соответственно на 139 и 126 %. Коэффициент размягчения при сжатии гипсового камня, полученного на основе активированной воды затворения при осуществлении обработки при оптимальных плотности тока в камере электрохимической активации  $j_{\max} = 22,58 \text{ А/м}^2$  и напряженности электромагнитного поля  $H_{\max} = 75 \text{ кА/м}$  и  $H_{\max} = 24 \text{ кА/м}$ , выше коэффициента размягчения контрольных образцов соответственно на 67 и 57 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шенгур Г. В. Исследования применения ЭТЭ для активации цемента // Применение электрогидравлического эффекта в технологических процессах производства. Киев, 1970. Вып. 3.
2. Страхов Ю. М., Бернштейн С. Н. Активация цементных смесей электрогидравлическим способом // Применение электрогидравлического эффекта в технологических процессах производства. Киев, 1970. Вып. 3.
3. Страхов Ю.М., Майборода Т.И., Рясный Б.Г. Использование искровых разрядов для активации растворных и бетонных смесей // Бетон и железобетон. 1993. № 3. С. 9–11.
4. Мчедлов-Петросян О.П., Плугин А.Н., Ушеров-Маршак А.В. Магнитная обработка воды и процессы твердения вяжущих // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Новочеркасск, 1975. С. 185–190.
5. Bordi S., Vannel F., Papeschi G. Electrical conductance and sedimentation potential of H<sub>2</sub>O from ice and from steam // Analytica chimica acta 1963. V. 53. №7. P. 934–942.
6. Баженов Ю.М., Фомичев В.Т., Ерофеев В.Т., Федосов С.В., Матвиевский А.А., Осипов А.К., Емельянов Д.В., Митина Е.А., Юдин П.В. Моделирование электрохимических процессов, протекающих на электродах в природной воде при ее активации // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).
7. Баженов Ю.М., Фомичев В.Т., Ерофеев В.Т., Федосов С.В., Матвиевский А.А., Осипов А.К., Емельянов Д.В., Митина Е.А., Юдин П.В. Теоретическое обоснование получения бетонов на основе электрохимически- и электромагнитноактивированной воды затворения // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).
8. Ерофеев В.Т., Митина Е.А., Матвиевский А.А., Осипов А.К., Емельянов Д. В., Юдин П. В. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения // Строительные материалы. 2007. №11. С. 56–58.
9. Ерофеев В.Т., Митина Е.А., Матвиевский А.А., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Долговечность цементных композитов на активированной воде // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 7. С. 51–54.
10. Ерофеев В.Т., Фомичев В.Т., Емельянов Д. В., Родин А.И., Еремин А.В. Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 30. С. 179–183.
11. Федосов С.В., Акулова М.В., Падохин В.А., Слизнева Т.Е. Исследование влияния механомагнитной активации железосодержащих добавок с водой затворения на свойства цементного теста и цементного камня // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53, вып. 1. С. 116–117.
12. Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е., Краснов А.М. Механомагнитная активация водных растворов химических добавок как способ модифицирования мелкозернистого бетона // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2014. Т. 57, вып. 3. С. 111–115.
13. Фокин Г.А., Лошканова Я.А. Повышение физико-механических свойств цементных систем акустической активацией воды затворения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. № 4. С. 16–20.

---

**Erofeev V.T., Fomichev V.T., Emel'yanov D.V., Fisher H.-B., Matvievskii A.A., Korotaev S.A., Bulychev A.A.**

**GYPNUM MATERIALS BASED ON ACTIVATED MIXING WATER**

*Low water resistance of building materials based on gypsum binders limits the scope of their application. The article presents the results of research aimed at obtaining gypsum materials with improved physical and mechanical properties, using the mixing of activated water. The possibility of obtaining gypsum composites with improved strength and water resistance to water mixing activated by sequential treatment with electromagnetic field, and an electric current using a magnetic antiscaling processing installation. Quantitative terms according to plaster test setting, strength and water resistance of gypsum composites from water activation mode mixing. A method for producing gypsum materials based on mixing activated water helps to improve economic indicators of production.*

**Key words:** *activated water mixing, gypsum, strength, water resistance.*

---

**Ерофеев Владимир Трофимович**, член-корр. РААСН, доктор технических наук, профессор декан архитектурно-строительного факультета.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева.

Адрес: Россия, 430005, Саранск, ул. Большевистская, д. 68.

E-mail: al\_rodin@mail.ru

**Фомичев Валерий Тарасович**, доктор технических наук, профессор зав. кафедрой «Общая и прикладная химия».

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет.

Адрес: Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, д. 1.

E-mail: valerifomiche@yandex.ru

**Емельянов Денис Владимирович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Инженерная и компьютерная графика».

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева.

Адрес: Россия, 430005, Саранск, ул. Большевистская, д. 68.

E-mail: emelyanoffdv@yandex.ru

**Фишер Ханс-Бертрам**, доктор-инженер кафедры «Строительные материалы» Веймарского строительного университета (Германия).

Адрес: Geschwister-Scholl-Straße 8, Weimar 99423, Germany.

E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

**Матвиевский Александр Анатольевич**, кандидат технических наук, Генеральный директор ОАО «МАКСМИР».

Адрес: Россия, 121099, Москва, Центр, Новинский бульвар, д. 11, 4-й этаж.

E-mail: maa@maxmir.ru

**Коротаев Сергей Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Зданий, сооружений и автомобильных дорог».

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева.

Адрес: Россия, 430005, Саранск, ул. Большевистская, д. 68.

E-mail: korotaevsc@yandex.ru

**Булычев Алексей Анатольевич**, инженер кафедры «Зданий, сооружений и автомобильных дорог».

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева.

Адрес: Россия, 430005, Саранск, ул. Большевистская, д. 68.

E-mail: bulychev777@mail.ru