

АЛЕКСАНДР БАЗАНОВ, ВАЛЕРИЙ ПАДОХИН<sup>1</sup>, МАРИНА АКУЛОВА<sup>2</sup>

## КОМБИНИРОВАННАЯ МЕХАНОМАГНИТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЖИДКОФАЗНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК В БЕТОНЕ

### COMBINED LIQUID-PHASE MODIFICATION OF FUNCTIONAL ADDITIVES IN CONCRETE

#### Аннотация

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования влияния механомагнитной активации на динамику структурообразования и прочность композиций на основе цемента. Показано, что применение механической активации на разных стадиях технологий производства строительных материалов позволяет снизить удельные расходы исходного сырья и дорогостоящих функциональных добавок.

*Ключевые слова: цемент, механоактивация, водопоглощение, прочность при сжатии, прочность при изгибе, термостойкость, метод планирования эксперимента*

#### Abstract

In this paper we present results of experimental investigations of the mechanoactivation influence on the dynamics of structure and strength of cement-based compositions. It is shown that the use of mechanical activation at different stages of building materials production technology will reduce the unit cost of raw materials and expensive functional additives.

*Keywords: cement, mechanoactivation, water adsorption, compressive strengths, flexural strengths, planning an experiment*

<sup>1</sup> К.т.н. Александр Владимирович Базанов, д.т.н., профессор Валерий Алексеевич Падохин, Институт химии растворов РАН.

<sup>2</sup> Д.т.н., профессор Марина Владимировна Акулова, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет.

Для улучшения физико-механических характеристик бетонов, гипсобетонов, шпатлевочных масс и других строительных материалов все более широко применяют методы механической активации. Механической активации могут подвергаться как сухие порошкообразные, так и жидкофазные материалы (суспензии, эмульсии, пасты, пены и др.) [1]. До настоящего времени подавляющая часть работ в области механической активации строительных материалов была посвящена изучению эволюции структуры и свойств собственно вяжущих компонентов.

Многочисленными исследованиями показано, что применение комбинированной механической активации в технологиях строительных материалов позволяет не только улучшить их структуру и физико-механические свойства, но и создавать принципиально новые высокоэффективные энергоресурсосберегающие процессы и технологические системы [1].

Нами установлено, что применение комбинированной механомагнитной модификации компонентов строительных материалов в технологиях их производства приводит к ещё более значительному снижению удельных расходов исходного сырья и дорогостоящих функциональных добавок [2]. При этом, весьма эффективным инструментом регулирования структуры и свойств бетонов на основе цементного вяжущего является комбинированная механомагнитная активация растворяемых систем затвердения бетонов (или иных строительных материалов), содержащих различные функциональные добавки.

В работе проведено исследование влияния механомагнитной активации водных растворов добавок  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  на прочностные свойства мелкозернистого бетона. Физико-механические свойства бетонов использовали на примере мелкозернистого бетона М100 следующего состава (в расчёте на  $1 \text{ м}^3$ ): цемент – 310 кг, песок – 1740 кг, вода – 120 л. Механомагнитная активация проводилась в периодическом режиме в течении 54 сек. в роторно-пульсационном аппарате при заданной скорости вращения ротора и напряженности магнитного поля 140 мкА/м.

Влияние добавки и механомагнитной активации воды затвердения на физико-механические свойства бетона определяли с осадкой конуса  $2 \div 4 \text{ см}$ .

Результаты экспериментов представлены на рис. 1 – рис. 5 и табл. 1 – табл. 5.

Таблица 1

**Изменение во времени предела прочности на сжатие мелкозернистого бетона, затворённого на активированных водных растворах функциональных добавок  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaCl}_2$**

Вид добавки	Предел прочности на сжатие, МПа, при времени твердения, сут.		
	7	14	28
Контрольный образец	4,55	4,83	5,02
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$	5,45	5,48	6,03
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$	5,40	5,80	6,05
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$ +актив*	5,77	6,76	8,6
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$ +актив*	8,40	8,42	8,71

**Примечание:** актив\* – механомагнитная активация воды затвердения с добавками  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  концентрацией 0,03 % от массы цемента, проводилась в течение 54 сек. в роторно-пульсационном аппарате при заданной частоте вращения ротора и напряженности магнитного поля 140 мА/м.



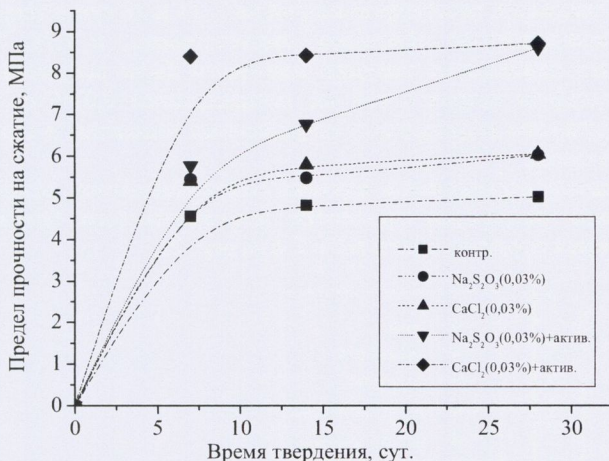


Рис. 1. Изменение во времени прочности на сжатие мелкозернистого бетона, затворённого на активированных водных растворах  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaCl}_2$

Fig. 1. Time variation of the compressive strength of fine-grained concrete on the base of activated aqueous  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  and  $\text{CaCl}_2$

Предел прочности бетона на сжатие образцов бетона, приготовленного на активированных растворах сульфата кальция на 7, 14 и 28 сутки твердения соответственно в 3,48, 2,96, 2,82 раза выше, чем предел прочности контрольных образцов бетона (приготовленных на исходных растворах функциональных добавок). Установлено, что наибольшие значения прочности достигаются при активации раствора хлорида кальция с концентрацией 0,03 % от массы цемента.

Таблица 2

Изменение предела прочности при изгибе в процессе твердения мелкозернистого бетона, затворенного на активированных растворах  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaCl}_2$

Вид добавки	Предел прочности при изгибе, МПа, при времени твердения, сут.		
	7	14	28
Контрольный образец	2,2	2,3	2,5
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$	2,9	3,1	3,23
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$	2,7	3,0	3,2
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$ + актив*	3,4	3,58	4,6
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$ + актив*	2,66	4,1	4,3

**Примечание:** актив\* – механомагнитная активация воды затворения мелкозернистого бетона с добавкой  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  концентрацией 0,03% от массы цемента, проводилась в течении 54 сек. в роторно-пульсационном аппарате при заданной частоте вращения ротора и напряженности магнитного поля 140 мкА/м.

Предел прочности на сжатие образцов мелкозернистого бетона, затворенного на активированных растворах тиосульфата натрия на 7, 14 и 28 сутки твердения, выше, по сравнению с контрольными образцами соответственно, в 1,78, 2,05, 2,77 раза. Установлено, что наибольшие значения прочности были получены при активации растворов тиосульфата натрия с той же концентрацией 0,03% от массы цемента. Полученные результаты подтверждает качественные изменения в структурообразовании цементного камня.

Были проведены исследования влияния механомагнитной активации функциональных добавок на предел прочности мелкозернистого бетона при изгибе, результаты которых представлены в табл. 2 и на рис. 2.

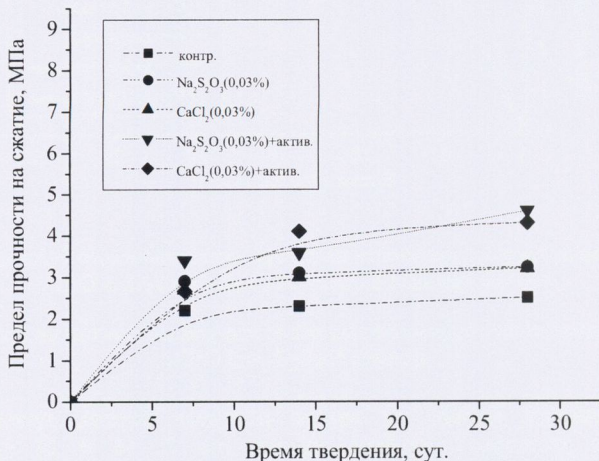


Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб образцов мелкозернистого бетона, затворённого на активированных растворах функциональных добавок  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  от времени твердения

Fig. 2. Dependence of the bending strength of samples of fine-grained concrete on the base of activated functional additives  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$

Механомагнитная активация проводилась в течение 54 сек. в роторно-пульсационном аппарате при заданной частоте вращения ротора и напряженности магнитного поля 140 мкА/м. Исследование прочности бетона при изгибе проводилось на образцах, – балочках размерами 40x40x160 мм.

Из данных табл. 2 и рис. 2 видно, что при использовании растворов добавок, прошедших активационную обработку в роторно-пульсационном аппарате с магнитом, предел прочности при изгибе мелкозернистого бетона возрастает на 7,14, и 28 сутки твердения, соответственно, в 1,54; 1,55; 1,84 раза для тиосульфата натрия и в 1,2; 1,78; 1,73 раза для хлорида кальция по сравнению с контрольным образцом.

Так как пределы прочности на сжатие и при изгибе мелкозернистого бетона, затворенного на активированных растворах тиосульфата натрия и хлорида кальция выше пределов прочности контрольных образцов, следующим этапом работы было исследование возможности снижения удельного расхода цемента, вводимого в мелкозернистый бетон при сохранении неизменной его марки.



В работе было изучено влияние активации растворов добавок на изменение предела прочности бетона при изменении содержания в нём цемента и воды. Количество заполнителя оставалось постоянным.

Результаты испытаний образцов бетона представлены в табл. 3-4 и на рис. 3-4.

Таблица 3

**Прочность на сжатие мелкозернистого бетона, затворённого на растворах добавок тиосульфата натрия и хлорида кальция при разном содержании цемента**

Вид добавки	Предел прочности на сжатие, МПа, при количестве цемента в бетонной смеси, %		
	100	95	90
Контрольный образец	1,91	1,83	0,88
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$	3,05	2,03	1,54
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$	3,76	1,975	1,95
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$ + актив*	2,53	2,48	1,39
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$ + актив*	5,4	3,1	2,65

**Примечание:** актив\* – механомагнитная активация воды затворения добавкой  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  концентрацией 0,03 % от массы цемента, проводилась в течении 54 сек. в роторно-пульсационном аппарате при скорости вращения ротора 4132 об/мин и напряженности магнитного поля 140 мкА/м.

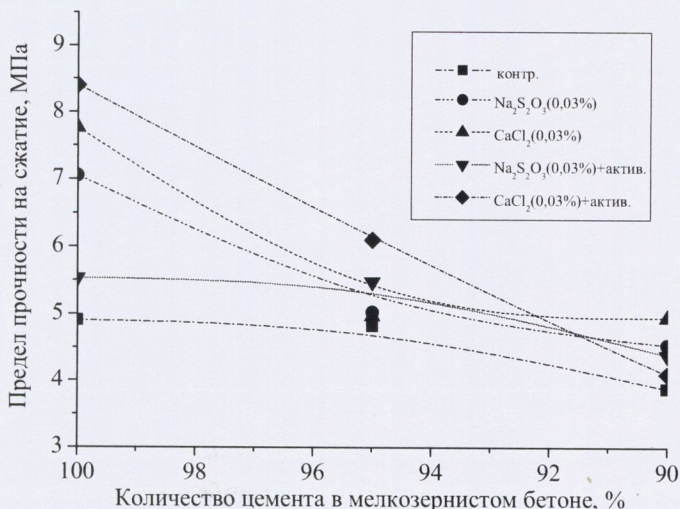


Рис. 3. Определение предела прочности на сжатие мелкозернистого бетона при использовании механомагнитной активации водного раствора с добавками  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  и при сокращении содержания цемента и воды в бетонной смеси

Fig. 3. Determining the limit of compressive strength of concrete using activation of an aqueous solution with the addition of  $\text{CaCl}_2$  or  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  and reduction of cement content and water in the concrete mix

**Предел прочности на изгиб мелкозернистого бетона, приготовленного на активированных водных растворах добавок  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  при уменьшении содержания цемента и воды в бетонной смеси**

Вид добавки	Предел прочности при изгибе, МПа, при количестве цемента в бетонной смеси, %		
	100	95	90
Контрольный образец	2,5	1,8	1,175
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03\%)$	3,1	2,26	1,005
$\text{CaCl}_2(0,03\%)$	2,9	2,07	1,27
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03\%)$ + актив*	3,58	2,3	1,3
$\text{CaCl}_2(0,03\%)$ + актив*	3,2	2,66	1,96

**Примечание:** актив\* – механомагнитная активация воды затворения мелкозернистого бетона с добавкой  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  концентрацией 0,03 % от массы цемента, проводилась 54 с в роторно-пульсационном аппарате при заданной частоте вращения ротора и напряженности магнитного поля 140 мкА/м.

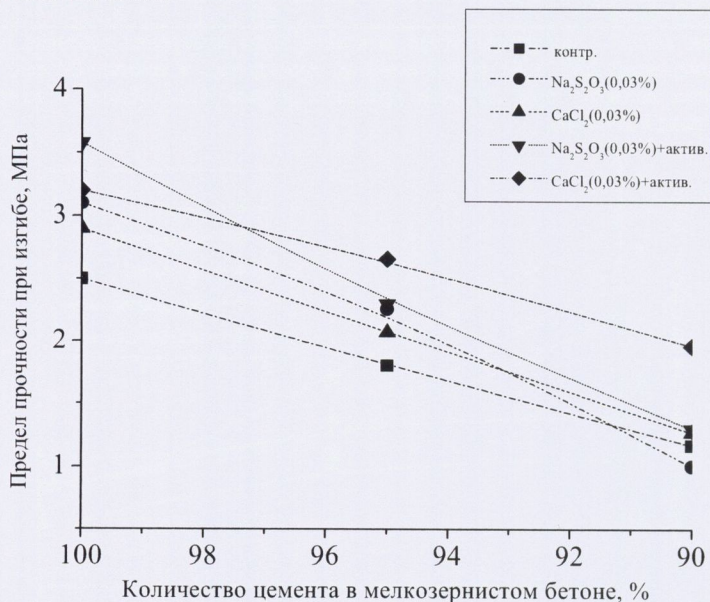


Рис. 4. Предел прочности на изгиб мелкозернистого бетона, приготовленного на активированных растворах с добавок  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  в условиях сокращения содержания цемента и воды в бетонной смеси

Fig. 4. Flexural strength of fine-grained concrete prepared on the activated solutions with additives  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  or  $\text{CaCl}_2$  in reducing the cement content and water in the concrete mix

Из приведённых данных следует, что для получения мелкозернистого бетона проектной марки с пределами прочности на сжатие и изгиб расход цемента и воды



для бетона марки М100 при использовании механомагнитной активации водного раствора с электролитами (рис. 3) можно сократить: при применении  $\text{CaCl}_2$  – на 5%; при применении  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  – на 3% (рис. 4).

Водонепроницаемость и морозостойкость в значительной мере определяют долговечность бетона. Эти свойства во многом зависят от структуры бетона.

Поэтому далее был проведён сопоставительный анализ водопоглощения образцов мелкозернистых бетонов, приготовленных на активированных и не активированных растворах функциональных добавок.

Образцы естественного твердения выдерживали в нормально-влажных условиях в течение 7, 14 и 28 суток, а затем подвергали испытанию в соответствии с действующими стандартами. Результаты выполненных экспериментов приведены в табл. 5 и рис. 5.

Из анализа водопоглощения мелкозернистого бетона следует, что образцы, приготовленные на активированном водном растворе тиосульфата натрия или хлорида кальция той же концентрации (0,03% от массы цемента), имеют меньшее водопоглощение (5,4% и 4,99%), чем образцы, приготовленные на не активированных растворах (6,66% и 5,4 %). Таким образом, в результате активации водопоглощение снижается, в среднем, на  $13 \div 15\%$ .

По сравнению с контрольным образцом (8,22%), водопоглощение снижается на  $30 \div 35\%$ .

Таблица 5

**Изменение водопоглощения мелкозернистого бетона, затворённого на активированных добавках, в процессе твердения**

Вид добавки	Водопоглощение мелкозернистого бетона, %, при времени твердения, сут		
	7	14	28
Контрольный образец	13	11,66	8,22
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$	12	7,98	6,66
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$	12,8	6,48	5,8
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(0,03 \%)$ + актив*	10	7,12	5,4
$\text{CaCl}_2(0,03 \%)$ + актив*	11,7	6,27	4,99

**Примечание:** актив\* – механомагнитная активация водного раствора с добавкой  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  или  $\text{CaCl}_2$  концентрацией 0,03 % от массы цемента, проводилась 54 с в роторно-пульсационном аппарате при заданной частоте вращения ротора и напряженности магнитного поля 140 мА/м.

Есть основание считать, что снижение водопоглощения в данном случае происходит за счет уменьшения среднего размера пор и количества открытых пор доступных для воды. Известно, что, вследствие улучшения поровой структуры повышается марка бетона по водонепроницаемости [3].

На основании проведённых исследований разработана новая ресурсосберегающая механомагнитохимическая технология активации жидкофазных функциональных добавок, предназначенных для получения мелкозернистых бетонов с улучшенными конструкционными и функциональными свойствами.

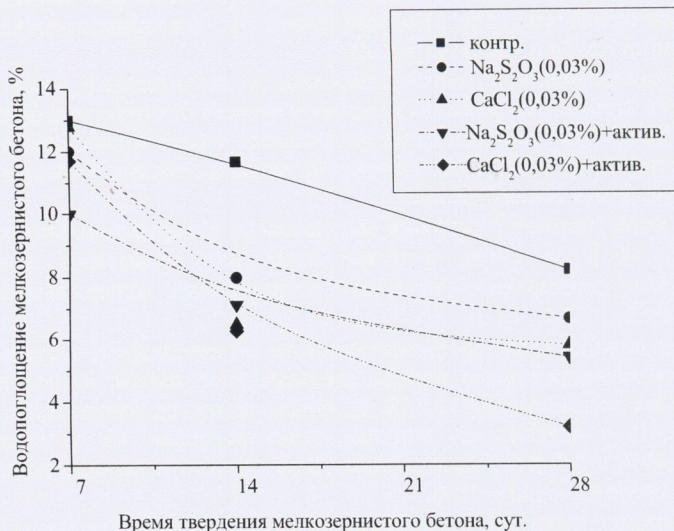


Рис. 5. Изменение водопоглощения мелкозернистого бетона, затворённого на активированных водных растворах  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaCl}_2$ , в процессе его твердения

Fig. 5. Change the water absorption of fine concrete, based on the activated aqueous of  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  and  $\text{CaCl}_2$ , in the process of hardening

### Л и т е р а т у р а

- [1] Касаткина В. И.: Мелкозернистый бетон на основе механомагнитоактивированных водных систем с органическими добавками, Кандидатская диссертация, ГОУ ВПО, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, Иваново, 2010.
- [2] Базанов А. В., Падохин В. И.: Механоактивация как средство управления процессом структурообразования вяжущих композиций цементных смесей, Доклады IV Региональной конференции молодых ученых „Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем”, Иваново, 2009.
- [3] Хинт И.А.: Об активности воды, СКТБ «Дезинтегратор», Таллин: Валгус, 1979.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Научные основы физико-химической механики новых мелкозернистых композит-бетонов с заданной структурой и свойствами, регулируемые механохимическими воздействиями №09-08-13671-офи\_ц».*