

УДК 69.002.5

О. И. Рубцов, В. И. Митраков, А. В. Глухов

ЦЕМЕНТАЦИЯ ГРУНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Представлены результаты исследования влияния магнитного поля на прочность закрепленного грунта. Рассмотрены варианты обработки воды и образцов после их изготовления. Определена степень упрочнения образцов из мономинеральных глин и люберецкого песка.

К л ю ч е в ы е с л о в а: магнитное поле, цементация, грунт, гидратация и кристаллизация цемента, электролит.

The authors provide the results of study of the influence of magnetic field on durability of the fixed soil. Different ways of processing water and samples after their production are considered. The degree of hardening of the samples made of monomineral clays and the Lyubertsy sand is defined.

К e y w o r d s: magnetic field, cementation, soil, cement hydration and crystallization, electrolyte.

Специальные исследования, посвященные роли магнитного поля в процессе твердения цементного теста, проводились в Новочеркасском политехническом институте, институте Южгипроцемент, МГУ, СПбГТИ (ТУ) и ЦНИИС [1—5]. Этими работами доказано, что прочность цементного камня в результате предварительной обработки воды в магнитном поле может повыситься на 30...40 %.

Применение магнитного поля с целью исследования его влияния на процесс гидратации и кристаллизации образцов цементного и цементногрунтового камня проводилось двумя способами. В первом случае в магнитном поле напряженностью 2000 эрстед с помощью противонакипного устройства обрабатывалась вода или раствор, после чего на том или другом замешивалось цементное или цементногрунтовое тесто. Во втором случае в магнитном поле примерно такой же напряженности обрабатывались образцы сразу после их изготовления. Одна часть образцов гидратировалась в эксикаторах над водой в обычных условиях, а другая — в зазоре магнита в течение 3 сут, с последующей сушкой на воздухе в течение 4 сут, после чего определялась прочность образцов на одноосное сжатие. Определение прочности производилось как минимум на 10 параллельных образцах, а в отдельных случаях количество параллельных определений доводилось до 30—50. В некоторых опытах гидратация образцов проводилась за 7 сут с последующей сушкой на воздухе в течение 21 сут.

В первой серии экспериментов исследовалось влияние магнитного поля на гидратацию и кристаллизацию портландцемента марки 500. При этом определялась прочность образцов в зависимости от величины уплотняющей нагрузки, состава и концентрации электролитного раствора, времени, прошедшего после магнитной обработки раствора. Во второй серии экспериментов изучалась прочность цементногрунтовых образцов при дозировке портландцемента 24 % в случае глинистых грунтов и 12...18 % в случае песчаных. В качестве грунтов были выбраны мономинеральные глины (аскан-гель, глуховецкий каолин) и люберецкий песок.

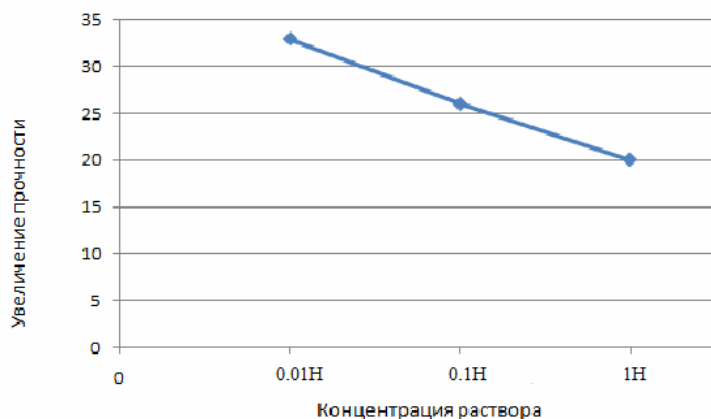
В результате предварительной обработки водопроводной водой одно- нормальных растворов NaCl, FeCl₂ в магнитном поле с последующим затворением на них цементного теста установлено, что прочность образцов портландцементного камня возрастает во всех случаях. Максимальное увеличение прочности (на 33 %) наблюдалось в случае обработки растворов при замешивании цементного теста на 0,01 н. и CaCl₂. При гидратации брикетов в поле 1500 эрстед прочность образцов в большинстве случаев снижалась (иногда на 20...40 %). Максимальное снижение прочности в большинстве случаев наблюдалась в образцах, замешанных на растворах CaCl₂ (26 %) и FeCl₂ (50 %). При этом установлена зависимость величины магнитных эффектов от концентрации исходных растворов. Оказалось, что при снижении концентрации раствора с 1 до 0,01 н. при предварительной обработке раствора прочность цементного камня увеличивается или остается постоянной, а при гидратации цементного образца в поле той же напряженности — снижается. Само по себе введение электролита CaCl₂ в цементное тесто приводило к увеличению прочности образцов с увеличением концентрации раствора (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Прочность, кг/см², образцов портландцементного камня в зависимости от вида магнитной обработки и концентрации раствора электролита

Раствор электролита	Вид магнитной обработки	Концентрация раствора электролита, н.					
		1		0,1		0,01	
		Без обработки	Магнитная обработка	Без обработки	Магнитная обработка	Без обработки	Магнитная обработка
CaCl ₂	Обработка раствора	153,7	185,5 (+20 %)	159,0	201,0 (+26 %)	143,0	190,8 (+33 %)
	Обработка теста	159,0	142,8 (–10,7 %)	159	156,3 (–2 %)	124,5	92,1 (–20 %)
FeCl ₂	Обработка раствора	238,5	242,6 (+1 %)	185,5	190,8 (+2 %)	180,2	185,5 (+2 %)
	Обработка теста	—	—	185,5	95,4 (–49 %)	180,2	111,3 (–39 %)
NaCl	Обработка раствора	—	—	66,2	80,4 (+21 %)	79,5	96,4 (+21 %)
	Обработка теста	—	—	68,9	90,1 (+30 %)	79,5	92,7 (+16 %)

Следует отметить, что прочность образцов, приготовленных на NaCl, выше в том случае, когда обрабатывается раствор, а не само тесто (34 и 10 % повышение прочности соответственно). Здесь опять наблюдается резкое различие в прочности в зависимости от магнитной обработки. Кроме того, это указывает на то, что под влиянием магнитного поля существенно меняются свойства электролитов. Исходя из данных по зависимости результатов исследования прочности электролитных растворов от их концентрации, можно объяснить причину различий, связанных с видом обработки. Анализ полученных данных, представленный на рис., показывает снижение прочности при увеличении концентрации раствора.



Зависимость магнитного приращения прочности цементного камня от концентрации CaCl_2 -раствора

Сопоставляя эти данные с экспериментами на дистиллированной воде, можно сделать следующие выводы:

1. Свойства водных растворов меняются под воздействием магнитного поля только через посредство ионов.

2. Упрочнение цементного камня в результате предварительной обработки растворов связано с концентрационным эффектом. Поэтому при гидратации и кристаллизации самого цементного теста в магнитном поле (т. е. в условиях насыщенного Ca^{2+} -раствора) существенного упрочнения не происходит, а напротив, в конечном счете прочность образца снижается. Это снижение прочности связано уже не с гидратацией, а со стадией кристаллизации новообразованных продуктов цементного клинкера.

3. Механизм воздействия магнитного поля на раствор и прочность цементного камня связан с повышением скорости гидратации цементного клинкера раствором, прошедшим магнитную обработку.

Наибольший магнитный эффект при цементации грунтов из трех выбранных для эксперимента образцов отмечается на аскан-геле. При анализе данных табл. 2 и 3 можно заметить, что практически во всех случаях прочность цементогрунтовых образцов аскан-геля повысилась после магнитной обработки на 4...30 %. На образцах каолина получены менее стабильные результаты, а магнитная обработка песчаных образцов вообще не привела к какому-либо положительному эффекту. Успешное закрепление аскан-геля с применением магнитного поля объясняется, кроме монтмориллонитового состава грунта, еще и наличием Ca^{2+} в объемном комплексе. Свидетельством этому служат результаты, показывающие, что затворение аскан-геля на 1 н.-растворе NaCl привело к снижению магнитного прироста прочности в 3...4 раза по сравнению с образцами, приготовленными на водопроводной воде.

Таким образом, введение Na^+ в данном случае хотя и сохраняет еще дополнительное приращение прочности образцов, но значительно снижает, что связано с одной стороны, с повышенной концентрацией раствора по сравнению, с водопроводной водой, а с другой стороны — с дефицитом иона Ca^{2+} в системе «глина — цемент — раствор».

Т а б л и ц а 2

Прочность цементногрунтовых образцов (водопроводная вода)

Грунт	Уплотняющая нагрузка, кг/см ² , при $t = 28$ сут													
	10		10		20		30		10		20		30	
	1	—	1	2	1	2	1	2	1	—	1	3	1	3
Аскан-глина	10,6	13,25	27,62	35,51	32,25	36,04	35,24	38,16	27,62	17,34	32,60	33,11	—	—
Каолин	33,92	36,30	17,32	18,79	33,39	34,22	30,65	34,45	16,91	14,87	32,23	19,35	31,80	18,90
Песок	5,3	5,3	7,32	7,32	6,32	6,30	7,08	8,0	7,15	6,36	6,32	6,83	—	—

Т а б л и ц а 3

Прочность цементногрунтовых образцов (растворы)

Грунт	Уплотняющая нагрузка, кг/см ² , при $t = 28$ сут													
	10		20		30		10		20		10		20	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Аскан-глина	42,57	44,24	30,21	34,45	34,45	37,10	17,52	22,26	25,7	26,50	12,19	12,72	22,79	25,70
Каолин	24,64	22,79	32,86	28,62	32,86	27,30	11,31	13,78	17,2	16,70	17,52	19,87	24,50	23,80
Песок	12,19	11,66	15,90	12,72	13,25	12,45	9,54	10,07	7,9	8,74	14,55	14,55	33,12	29,10

В табл. 2 и 3 приняты следующие обозначения: 1 — образец без магнитной обработки; 2 — магнитная обработка раствора; 3 — магнитная обработка теста.

В отличие от образцов цементного камня и каолиновых, закрепленных цементом, магнитная обработка по второму варианту (гидратация в зазоре магнита) также привела к упрочнению образцов. Поэтому можно считать, что в данном случае механизм пересыщенного раствора, который имел место в случае портландцемента, не срабатывает, очевидно, по причине исключительно большой адсорбционной способности монтмориллонита, который существенно снижает концентрацию ионов в растворе. Это соображение подтверждается результатами, полученными при цементации каолина в аналогичных условиях, когда не только не наблюдалось упрочнение, но и отмечено снижение прочности образцов, гидратировавшихся в зазоре магнита на 40...50 % по отношению к необработанным (см. табл. 2 и 3).

Образцы аскан-геля, приготовленные на 1 н.-растворе хлорного железа, по своей прочности оказались примерно в три раза слабее, чем образцы, изготовленные на водопроводной воде и 1 н.-растворе хлористого натрия. Это обстоятельство связано с большой коагулирующей способностью ионов Fe^{3+} . Но относительное увеличение прочности вследствие магнитной обработки оказалось таким же, как в случае раствора хлористого натрия. Это указывает на то, что на конечные результаты магнитной обработки электролитного раствора гораздо большее влияние оказывает концентрация раствора, чем валентность ионов.

В отличие от аскан-геля на цементированных образцах каолина отмечается четкая зависимость результатов от вида магнитной обработки. Образцы, замешанные на водопроводной воде, предварительно прошедшей магнитную обработку, обладают более высокой прочностью (на 7...8 %), чем образцы, приготовленные обычным способом. С другой стороны, образцы, гидратировавшиеся в стационарном магнитном поле, снизили свою прочность, причем это снижение оказалось весьма значительным (12...50 %). Если сопоставить эти данные с полученными на портландцементе, то можно установить полное тождество результатов. Поэтому можно считать, что в среде каолина гидратация и кристаллизация портландцемента под действием магнитной обработки принципиально не меняются по сравнению с монтмориллонитовой средой.

В отличие от портландцемента и цементированного аскан-геля введение электролитов (независимо от вида катиона Na^+ или Fe^{+++}) в большинстве случаев приводило к отрицательному эффекту: прочность образцов снижалась на 2...16 %. Такой результат может быть связан с коагулирующим действием 1 н.-растворов NaCl и FeCl_2 на частицы каолина. Применение магнитной обработки растворов при цементации люберецкого песка не привело к положительным результатам. Только в некоторых случаях при гидратации песчано-цементных образцов в постоянном магнитном поле отмечалось повышение их прочности на 10...11 %.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее успешно магнитная обработка с целью повышения прочности при цементации грунтов может быть применена на монтмориллонитовых глинах.
2. Результаты магнитной обработки существенно зависят от концентрации раствора электролита: чем меньше концентрация раствора (до определенного предела), тем больше изменяется его структура под влиянием магнитного поля.

3. При предварительной обработке электролитного раствора прочность портландцементных и цементно-грунтовых образцов повышается, а при обработке самого теста — снижается (исключение составляет аскан-гель).

4. Кристаллизация продуктов гидратации цементного теста в постоянном магнитном поле протекает с меньшей интенсивностью, чем в обычных условиях, что приводит к снижению прочности образцов.

5. Предварительная магнитная обработка электролитных растворов приводит к ухудшению качества кристаллизации новообразованных продуктов. Такого рода эффект способствует упрочнению грунтоцементных образцов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Осипов Ю. Б.* Цементация грунтов с применением магнитного поля // Материалы к VI Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. М., 1968. С. 78—85, 161.
2. *Гончарова Л. В.* Основы искусственного улучшения грунтов. М. : МГУ, 1973. 376 с.
3. *Азелицкая Р. Д., Приходченко Н. А., Черных В. Ф.* Магнитная и акустическая обработка веществ. Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского политехн. ин-та, 1966. С. 31, 37.
4. *Михельсон М. Л.* Проявление сил Лоренца при совместном и раздельном воздействии электрических и магнитных полей на растворы // Коллоидный журнал. 1977. Т. 39. № 3. С. 164, 577—578.
5. *Брыков А. С.* Силикатные растворы и их применение : учебное пособие. СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2009. 54 с.
1. *Osipov Yu. B.* Tsementatsiya gruntov s primeneniem magnitnogo polya // Materialy k VI Vsesoyuznomu soveshchaniyu po zakrepleniyu i uplotneniyu gruntov. M., 1968. S. 78—85, 161.
2. *Goncharova L. V.* Osnovy iskusstvennogo uluchsheniya gruntov. M. : MGU, 1973. 376 s.
3. *Azelitskaya R. D., Prikhodchenko H. A., Chernykh V. F.* Magnitnaya i akusticheskaya obrabotka veshchestv. Novocherkassk: Izd-vo Novocherkasskogo politekhn. in-ta, 1966. S. 31, 37.
4. *Mikhel'son M. L.* Proyavlenie sil Lorentsa pri sovmestnom i razdel'nom vozdeystviy elektricheskikh i magnitnykh poley na rastvory // Kolloidnyy zhurnal. 1977. T. 39. № 3. S. 164, 577—578.
5. *Brykov A. S.* Silikatnye rastvory i ikh primeneniye : uchebnoye posobie. SPb. : SPbGTI(TU), 2009. 54 s.

© Рубцов О. И., Митраков В. И., Глухов А. В., 2013

Поступила в редакцию
в ноябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Рубцов О. И., Митраков В. И., Глухов А. В. Цементация грунтов с применением магнитного поля // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 4(29). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RubtsovMitrakovGlukhov-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/RubtsovMitrakovGlukhov-2013_4(29).pdf)