

В. И. Курец, Г.Л. Лобанова, Г.П. Филатов, А.Ю. Юшков

АКТИВАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ

*НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете,
пр. Ленина, 2А, г. Томск, 634050, Россия*

Введение

В промышленном и гражданском строительстве широко применяются изделия, изготовленные на основе цементов. Одной из главных задач, стоящих перед промышленностью и направленных в основном на повышение прочности цементного камня и скорости его твердения, является улучшение качества этих изделий как за счет подбора компонентов сырьевой смеси и изменения технологии изготовления, так и за счет увеличения тонины помола цемента.

При увеличении тонины помола непропорционально быстро растут затраты энергии на единицу обрабатываемого объема цемента и чем тоньше его помол, тем меньше времени он может храниться без существенных изменений характеристик. Это вызывает необходимость разработки методов изменения свойств цементных растворов непосредственно перед применением, что может быть достигнуто двумя основными путями: вводом добавок, или методами физического воздействия на раствор.

Способов улучшения свойств цементных растворов достаточно много. Однако большинство из них не нашли широкого применения. В работах [1–6] показана перспективность применения высоковольтных электрических разрядов для активации цементных растворов. Активация осуществляется комплексным воздействием на раствор мощных ударных волн, образующихся при разрядах в рабочей среде, вторичных ударных волн от схлопывания парогазовой полости в послеразрядный период, звуковых, ультразвуковых, кавитационных процессов, интенсивного перемешивания, электрического воздействия. В данной статье рассматривается комплексное воздействие на активацию цементного раствора высоковольтных импульсных электрических разрядов, включая влияние зарядного тока конденсаторной батареи, протекающего через рабочую среду.

Методика проведения исследования

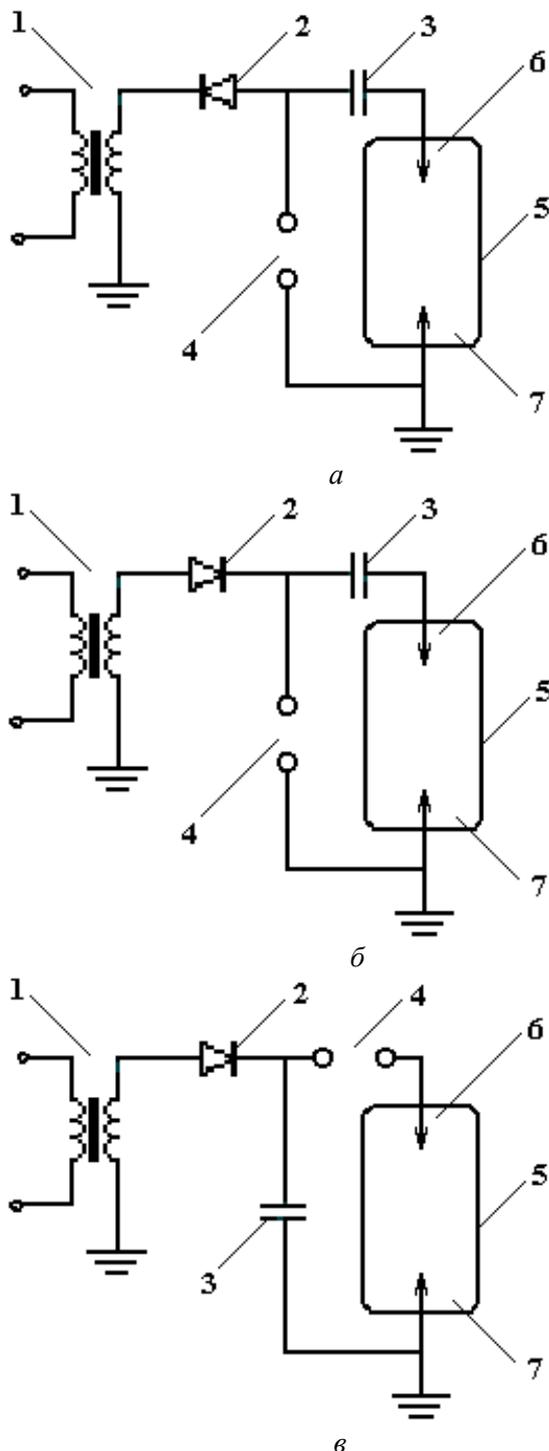
Для проведения экспериментов по обработке цементных растворов электрическими разрядами была собрана установка, электрическая часть которой выполнена по трем заменяемым схемам, показанным на рисунке. Установка состояла из зарядного устройства, состоящего из высоковольтного трансформатора 1 и выпрямителя 2, подсоединяемого к генератору импульсов. Генератор включал в себя конденсаторную батарею 3 и шаровой разрядник 4. Рабочая камера 5, изготовленная из стеклотекстолита, имеет высоковольтные электроды 6 и 7, изготовленные из стального стержня диаметром 12 мм и закрепленные в крышке и днище камеры резьбовыми соединениями.

Для исследования использовали растворы, приготовленные из цемента Чернореченского завода. Раствор готовили путем затворения цемента технической водой с удельным сопротивлением $3 \cdot 10^3$ Ом·см. Водоцементное отношение раствора находилось в пределах 0,5–0,7. Объем пробы составлял 30 л.

Для проведения экспериментов использовали следующие параметры схемы. Емкость конденсаторной батареи $C = 0,5$ мкФ, амплитуда импульса 60 кВ, частота следования импульсов 6 Гц, энергия единичного импульса 900 Дж, расстояние между электродами составляло 15 мм.

В первой серии опытов установка работала по схеме рисунка, а. Приготовленный цементный раствор заливали в рабочую камеру 5. Затем включали установку и осуществляли зарядку конденсаторной батареи 3 до напряжения, необходимого для пробоя промежутка воздушного шарового

разрядника 4. При этом раствор в рабочей камере 5 подвергался активирующему воздействию шарового разрядника 4. При этом раствор в рабочей камере 5 подвергался активирующему воздействию зарядного тока. После того, как на конденсаторной батарее достиглось пробивное напряжение, шаровой разрядник 4 срабатывал, и раствор обрабатывался высоковольтными электрическими импульсами между электродами 6 и 7. Таким образом, в одной рабочей камере 5 имело место два механизма воздействия на обрабатываемый раствор: а) обработка раствора зарядным током конденсаторной батареи 3 генератора импульсов, б) высоковольтными электрическими разрядами.



Варианты схем для обработки цементного раствора: с зарядным током при положительной полярности высоковольтного электрода (а), с зарядным током при отрицательной полярности высоковольтного электрода (б), без зарядного тока при положительной полярности высоковольтного электрода (в). 1 – высоковольтный трансформатор, 2 – выпрямитель, 3 – конденсаторная батарея, 4 – шаровой разрядник, 5 – рабочая камера, 6 – высоковольтный электрод, 7 – заземленный высоковольтный электрод

Следующие серии экспериментов были проведены по схемам, показанным на рисунке, *б* и *в*. В схеме рисунка, *б* менялось направление зарядного тока, протекающего через раствор, и соответственно полярность потенциального электрода, а в схеме рисунка, *в* исключалось воздействие зарядного тока на раствор.

Эффективность обработки раствора оценивали по прочности цементного камня на изгиб, растекаемости и времени схватывания. Изготовление образцов и измерения их свойств проводили по традиционным методикам.

Результаты экспериментов

Для установления возможности активации цементного раствора в условиях, когда на него воздействует импульсы положительной полярности и дополнительно зарядный ток, провели серию экспериментов по схеме рисунка, *а*. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты обработки цементных растворов электрическими разрядами

Число импульсов	Время схватывания, час·мин		Растекаемость	Предел прочности на изгиб за 1 сутки, кг·с/см ²
	начало	Конец		
0	5-25	10-45	17,7	22,7
900	5-50	10-50	22,6	30,5
1200	5-15	10-10	22,7	34,5
1500	5-20	10-20	22,4	32,6
1800	5-35	10-35	23,8	31,8

Из табл. 1 видно, что после обработки цементного раствора высоковольтными электрическими импульсными разрядами прочность цементного камня оказалась выше, чем полученного из необработанного раствора. По мере активации цементного раствора электрическими разрядами его растекаемость повышается с 17,4 до 23,8 см³. В то же время срок начала и конца схватывания цементного раствора снизился, что наиболее явно просматривается, при обработке 1200 импульсами. Максимальная прочность на изгиб цементного камня равна 34,5 кг·с/см² и соответствует обработке раствора 1200 импульсами, при этом энергия, затраченная на обработку 30 л раствора, составила 1,08 МДж. По сравнению с прочностью на изгиб необработанного раствора, равной 22,7 кг·с/см², прочность обработанного раствора возросла в 1,5 раз. Более длительная обработка раствора (1500 импульсов) привела к уменьшению прочности на изгиб до 32,6 кг·с/см² и оказалась ниже той, которая была достигнута после обработки раствора 1200 импульсами. Это, вероятно, связано с тем, что после подачи оптимального числа – 1200 импульсов в системе цемент – вода начинается интенсивное структурообразование и дальнейшее воздействие ведет к необратимому разрушению структурного каркаса, ухудшая условия кристаллизации и соответственно характеристики цементного камня, что согласуется с результатами [5, 6]. Аналогичная картина наблюдается и при изготовлении растворов в механических устройствах, поэтому время перемешивания растворов в них тоже ограничено.

Для сравнения обработку цементного раствора провели и по другим схемам (см. рисунок, *б* и *в*). Обработку проводили 1200 импульсами, то есть при оптимальном их количестве, когда использовалась схема рисунка, *а*. Результаты испытаний оценивали по прочности цементного камня на изгиб. Они представлены в табл. 2, из которой следует, что в случае использования схемы рисунка, *б*, когда полярность потенциального электрода отрицательная, эффективность обработки низкая. Это связано с особенностями механизма электрического пробоя конденсированных сред импульсами отрицательной полярности [7]. При проведении опытов по схеме рисунка, *б* оптимальное количество импульсов, при котором наблюдается эффект, составило 1800. Прочность цементного камня на изгиб достигла 30,4 кг·с/см², расход энергии, затраченной на обработку, – 1,62 МДж. В этом случае вероятность пробоя цементного раствора уменьшается, увеличиваются затраты энергии, так как значительное количество энергии тратится на нагрев раствора. В целом обработка осуществлялась не эффективно несмотря на активирующее воздействие зарядного тока.

Обработка цементного раствора по схеме рисунка, *в* исключает действие зарядного тока и при положительной полярности потенциального электрода более эффективна, чем предыдущий вариант. Однако эффект хуже, чем в варианте, когда на раствор воздействовал зарядный ток, а полярность электрода была положительна. Оптимальное количество импульсов в этом опыте составило 1500.

Прочность цементного камня на изгиб достигла 33,7 кг·с/см²; энергия, затраченная на обработку, составила 1,35 МДж.

Таблица 2. Влияние на прочность цементного камня схемы обработки (число импульсов – 1200)

Характер обработки по схемам на рисунке	Прочность цементного камня на изгиб, кг·с/см ²
<i>a</i>	34,5
<i>б</i>	23,5
<i>в</i>	29,2

Таким образом, обработка цементного раствора по схеме рисунка, *a* с использованием импульсов положительной полярности и зарядного тока наиболее эффективна.

Следующая серия экспериментов была посвящена обработке облегченных цементных растворов с соотношением В/ц = 0,75. Интерес к таким растворам объясняется тем, что их использование позволяет не только экономить цемент, но и решить целый ряд проблем, возникающих, например, при цементировании скважин [8].

В табл. 3 представлены свойства цементных растворов и камня, полученного из них.

Таблица 3. Характеристики раствора и камня, приготовленного из цементного раствора с низким удельным весом (В/ц=0,75; удельный вес = 1,67 г/см³)

Число импульсов	Прочность на изгиб за I сутки, кг·с/см ²
0	2
1500	16,8
1500	21,2 (добавка глинопорошка)

Из табл. 3 видно, что цементный камень, полученный из необработанного раствора, имеет очень низкие характеристики: прочность на изгиб цементного камня равна 2 кг·с/см²; растекаемость оказалась много больше 25 см. При обработке такого раствора 1500 импульсами его растекаемость снизилась и в ряде опытов была равна 25 см, а цементный камень, приготовленный из этого раствора, приобрел способность сопротивляться механической нагрузке на изгиб на уровне 16,8 кг·с/см² вместо 2 кг·с/см² у контрольного образца. Для связывания воды в растворе и снижения его растекаемости добавили к цементному раствору глинопорошок в количестве 1–1,5 % от веса используемого цемента. После обработки такого раствора импульсными электрическими разрядами растекаемость его снизилась до 23 см, а прочность на изгиб достигла 21,2 кг·с/см. Таким образом, добавка незначительного количества глинопорошка оказалась целесообразной, поскольку позволила приблизить характеристики цементного раствора к требуемым на практике.

Следует отметить, что твердение цементного раствора во всех указанных выше случаях проводилось при нормальных условиях ($T = 20^{\circ}\text{C}$, $P = 760$ мм рт. ст.), то есть весьма далеких от реальных условий в скважине, когда температура и давление достигают сотен градусов и атмосфер [9]. Поэтому для сравнения были приготовлены цементные растворы по рассмотренным методикам и осуществлено твердение образцов из раствора в автоклаве при условиях ($T = 100^{\circ}\text{C}$, $P = 200$ ат.). В табл. 4 представлены полученные результаты.

Таблица 4. Свойства цементного камня, полученного после твердения раствора в автоклаве

Водоцементное отношение, В/ц	Число импульсов	Предел прочности на изгиб за I сутки, кг·с/см ²	Примечание
0,5	0	54,6	
0,5	1500	76,7	
0,75	0	24,6	
0,75	1500	41,2	
0,75	1500	46,4	Добавка глинопорошка

Из табл. 4 видно, что активация цементного раствора электрическими импульсными разрядами позволила повысить прочность цементного камня в 1,41 раза при В/ц = 0,5 и практически в 2 раза при В/ц = 0,75. Как и при твердении в обычных условиях, при наличии в цементном растворе глинопорошка, прочность цементного камня выше, чем цементного камня без добавки глинопорошка.

Выводы

Установлено, что обработка раствора электрическими разрядами положительно влияет на свойства цементного камня. Экспериментально подтверждена целесообразность воздействия на раствор зарядного тока конденсаторной батареи генератора импульсов. В этом случае обработка раствора осуществляется более эффективно и с меньшими энергозатратами, по сравнению с другими вариантами обработки, когда этот процесс не используется. Эффект связан с протеканием зарядного тока через цементный раствор, в котором происходит электроосмос, электрофорез. Эти явления влияют на растворимость минералов, скорость коагуляции и изменяют свойства воды. Кроме того, уменьшаются потери энергии на стадии формирования канала разряда, так как протекающий зарядный ток подготавливает условия для создания канала сквозной проводимости. Это ведет к более эффективному преобразованию энергии в канале пробоя и воздействию на обрабатываемые растворы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бережной А.И., Зельцер П.Я., Муха А.Г.* Электрические и механические методы воздействия при цементировании скважин. М., 1976. С. 183.
2. *Фисенко Н.Н., Сеяков А.С.* Физические методы воздействия на цементы с целью повышения качества тампонажных растворов // Обзор. Техника и технология геологоразведочных работ: организация производства. М., 1977. С. 24.
3. *Гулых Г.А., Малюшевский П.П.* Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах. Киев, 1978. С. 176.
4. *Муха А.Г., Бережной А.И., Рябов В.П.* Улучшение свойств тампонажных растворов посредством электрогидравлического воздействия // Бурение газовых и газоконденсатных скважин. М., 1976. С. 3–8.
5. *Круглицкий Н.Н., Горovenko Г.Г., Малюшевский П.П.* Физико-химическая механика дисперсных систем в силовых импульсных полях. Киев, 1983. С. 154.
6. *Курец В.И., Шишкин В.С., Сулакишин С.С., Спиридонов Б.И.* Обработка тампонажных цементных растворов электрическими разрядами // Электронная обработка материалов. 1986. № 1. С. 42 – 45.
7. *Наугольных К.А., Рой Н.А.* Электрический разряд в воде. М., 1971.
8. *Булатов А.И., Рябченко В.И., Сухарев С.С.* Основы физико-химии промывочных жидкостей и тампонажных растворов. М., 1968.
9. *Липовецкий А.Я. Данюшевский В.С.* Цементные растворы в бурении скважин. Л., 1963.

Поступила 05.08.02

Summary

Result data of investigation in the treatment of cement slurries having different water-cement ratio by electric discharges are presented. It is shown the treatment of cement slurries when they, besides discharges, are subjected additionally to the charging current is essentially reasonable. The concept of installation for handing cement slurries by electric discharges is proposed.
