

A. E. Попов, A. D. Рыбаков, B. I. Селяков

**ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА
ПРОНИЦАЕМОСТИ СРЕДЫ ОТ ПЛОТНОСТИ
ПРОПУСКАЕМОГО ЧЕРЕЗ НЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

В [1—4] теоретически и экспериментально показана возможность необратимого изменения проницаемости пористой насыщенной среды при пропускании через нее электрического тока. Эти изменения, как показано в [1, 5], связаны с эффектом перестройки структурного пространства среды в результате локализации плотности энерговыделения в тонких капиллярах, лимитирующих проводимость среды. Методика исследования структуры пустотного пространства среды описана в [5]. В [6] приведены результаты экспериментального изучения изменения проницаемости среды при пропускании через нее переменного электрического тока. В данной работе излагаются результаты сравнительного исследования изменения проницаемости песчано-глинистой породы при пропускании через нее переменного и импульсного электрического токов различной плотности.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Из сосуда 1 раствор CaCl_2 подается в колонку 2, наполненную изучаемой породой 3, и собирается в сосуд 4. Капилляр 5 позволяет поддерживать постоянным перепад давлений между торцами колонки. Напряжение на колонку подается через электроды 6, выполненные в виде мелкой сетки из нержавеющей стали и закрывающие целиком торец колонки. Для улучшения контакта электроды углублены в породу. Высота переколяционного слоя породы, равная расстоянию между электродами, 8 см, диаметр колонки 1,8 см. Гидравлический напор составлял 5 см. Заполнение супесью стеклянных трубок проводилось сверху через открытый верхний торец, а снизу через фильтр подавался слабый раствор ($0,01\text{N}$) CaCl_2 . Такой способ заполнения использован для удаления воздуха из породы. Раствор применялся в качестве насыщающей жидкости с целью исключения процессов, связанных с ионным обменом в горных породах. Фракционный состав (за вычетом массы глины) песчано-глинистой породы, использовавшейся в эксперименте, приведен в табл. 1.

В табл. 2 представлены средний размер зерен d , дисперсия зерен по их размерам D , доля глины в общей массе σ , первоначальная проницаемость K_0 , пористость m .

После заполнения колонок породой через них пропускался раствор CaCl_2 в течение 5—15 сут до тех пор, пока расход проходящей через породу жидкости не становился стабильным. Затем проводилась электрообработка первой и второй колонок, третья оставалась контрольной. После электрообработки измерялось изменение q — расхода жидкости, протекающей через колонку. Затем цикл повторялся при других параметрах электровоздействия.

В первой серии экспериментов исследовалась зависимость изменения коэффициента проницаемости от напряжения, приложенного к колонке,

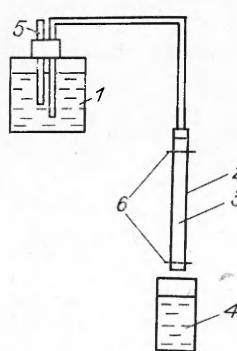


Рис. 1

при фиксированном значении плотности энерговыделения в среде. Результаты измерений q/q_0 (относительного изменения расхода жидкости через колонку от напряженности приложенного к ней электрического поля) приведены на рис. 2. Начальное значение $q_0 \sim 0,2 \text{ мл/ч}$. При напряженности поля в среде $E < 10 \text{ В/см}$ и фиксированной плотности энерговыделения в породе $A = 3,6 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$ изменений коэффициента проницаемости среды не наблюдалось, что подтверждает пороговый характер процесса изменения проницаемости среды при ее электрообработке [2]. Как видно из рис. 2, увеличение напряжения на торцах трубки приводит к существенному росту необратимых изменений коэффи-

Таблица 1

d , мм	σ , %
2,5	0,04
1,25	0,13
0,63	1,85
0,315	31,8
0,18	44,3
$<0,16$	21,8

Таблица 2

d , мкм	D , мкм^2	σ , %	K_0 , мкм^2	m , %
303	$39 \cdot 10^3$	11,1	$12 \cdot 10^{-4}$	18

фазы в капиллярах при пропускании через них тока высокой плотности и соответственно газовой кольматации породы. Этот эффект может иметь место в результате локализации высокой плотности энерговыделения в тонких капиллярах [3]. В результате в тонких капиллярах температура жидкости может существенно превышать среднюю температуру среды, которая при $A = 7,2 \cdot 10^4$ Дж/кг существенно ниже температуры кипения жидкости.

Во второй серии экспериментов проводилось сравнительное исследование изменения проницаемости среды при пропускании через нее переменного и импульсного токов. С этой целью первая колонка обрабатывалась переменным электрическим током промышленной частоты, а вторая — импульсным разнополярным, третья оставалась контрольной. Продолжительность электрообработки и средняя плотность энерговыделения в первой и второй колонках задавались одинаковыми. Длительность импульсов $\tau = 0,2$ с, а период повторения импульсов $T = 0,5$ с. Измерение необратимых изменений коэффициентов проницаемости среды после ее электрообработки проводилось через 3—5 сут. Затем цикл повторялся при другом значении плотности энерговыделения в среде. Зависимости относительного изменения коэффициента проницаемости от плотности энерговыделения в среде приведены на рис. 3 (кривая 1 соответствует электрообработке среды переменным током, 2 — импульсным током). Видно, что импульсная электрообработка породы существенно более эффективна по сравнению с электрообработкой переменным током с частотой 50 Гц. Отличаются также и пороговые значения плотности энерговыделения, при которых начинается изменение коэффициента проницаемости. В первом и втором случае они равны $1,8 \cdot 10^4$ и $0,9 \cdot 10^4$ Дж/кг. Импульсная электрообработка породы с $A > 7,2 \cdot 10^4$ Дж/кг приводила к длительному снижению проницаемости среды, что, по-видимому, может быть связано с газовой кольматацией.

Таким образом, результаты экспериментального исследования показывают, что при фиксированном значении плотности энерговыделения эффективность электрообработки существенно возрастает при увеличении напряженности поля в среде. Эффективность электрообработки среды при пропускании через нее импульсного электрического тока существенно выше по сравнению со случаем электрообработки ее переменным током промышленной частоты.

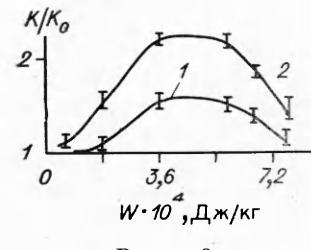
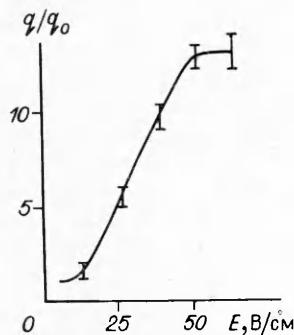


Рис. 2

Рис. 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А. Е., Селяков В. И. Изменение проводимости неоднородной среды при пропускании через нее электрического тока // ДАН СССР.— 1990.— Т. 310, № 1.
2. Селяков В. И. Изменение проницаемости среды при пропускании через нее электрического тока // Тез. докл. на VI Всесоюз. съезде по теорет. и прикл. механике, Ташкент, 1986.
3. Селяков В. И. Изменение проводимости неоднородной среды, связанное с пропусканием через нее электрического тока // Численные методы решения задач фильтрации многофазной несжимаемой жидкости.— Новосибирск, 1987.
4. Селяков В. И. Рост трещины в пористой насыщенной среде при пропускании через нее импульса тока // ПМТФ.— 1984.— № 4.
5. Абдульманов И. Г., Глушко С. П., Кадет В. В., Селяков В. И. Электропорометрический метод восстановления функции распределения капилляров по радиусам // ПМТФ.— 1988.— № 4.
6. Абдульманов И. Г., Ермаков В. И., Ростовский Н. С. и др. Перестройка структуры пустотного пространства среды при пропускании через нее электрического тока // ПМТФ.— 1990.— № 3.

г. Москва

Поступила 21/XII 1989 г.,
в окончательном варианте — 30/X 1990 г.

УДК 624 : 131.5 : 539.4.01

Ю. И. Войтенко, А. В. Михалюк, А. В. Токарчук

ИМПУЛЬСНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Проблема импульсного гидроразрыва твердых тел в последние годы приобретает большое практическое значение преимущественно в горном деле, где этот метод разрушения используется для направленного изменения проницаемости горных пород с целью интенсификации геотехнологических процессов. К настоящему времени проведены некоторые теоретические [1—3] и экспериментальные [4] исследования, позволяющие дать прогноз условий возникновения трещин заданной пространственной конфигурации и их размеров без учета пористости — одного из характерных свойств естественных и искусственных геоматериалов. Кроме того, ранее мало внимания уделялось влиянию на скорость и размеры трещины прочностных свойств пород (вязкости разрушения).

Ниже изложены результаты экспериментального изучения влияния пористости и прочности твердого тела на развитие трещин в режиме импульсного гидроразрыва.

В качестве материала, моделирующего пористую среду типа серо-содержащего известняка, был принят искусственный камень, который изготавливался из песчано-цементной смеси (скелет) и дробленой канифоли (малопрочный компонент-наполнитель) с размером зерна не более 7 мм, содержание c_k которой составляло 10, 30 и 50 % в диапазоне содержания элементарной серы в известняках месторождений западных районов УССР. Образцы из такой смеси выдерживали при комнатной температуре в течение 28 сут и более для достижения требуемой прочности, определяющейся по испытаниям на одноосное сжатие и составляющей 20 ... 90 МПа. Пористость модели варьировалась в пределах от 4 до 8 %. Такие физико-механические свойства образцов характерны для многих естественных и искусственных геоматериалов.

В настоящей работе применяли методику проведения экспериментов, подробно описанную в [4]. Так же как и в [4], для импульсного разрыва моделей использовали два типа рабочих жидкостей, коэффициенты кинематической вязкости которых составляли $2,2 \cdot 10^{-6}$ и $6,8 \cdot 10^{-4}$ м²/с. Амплитудно-временные режимы импульсного давления, генерировавшегося в жидкости, выбирали из условия применимости результатов наблюдений к прогнозу работы существующей скважинной аппаратуры и технологий импульсного разрыва: давление в рабочей жидкости до 20—30 МПа, скорость нарастания давления $10^9 \dots 10^{10}$ Па/с, время действия импульса 20 ... 30 мс. Соотношение между размерами образцов и условиями нагружения выбирали таким образом, чтобы развивающаяся трещина не выходила на свободную поверхность образца. Размеры трещин определяли непосредственным измерением после распила образцов пер-