

Регенерация пористых материалов методом высоковольтного электрического разряда в жидкости

О. Н. Сизоненко, Э. И. Тафтай, Е. В. Липян,
А. С. Торпаков, А. Д. Зайченко, О. В. Кириченко*

Институт импульсных процессов и технологий
НАН Украины, Николаев

*Институт проблем материаловедения им. И.
Н. Францевича НАН Украины, Киев

Исследованы особенности регенерации фильтров искусственного происхождения при высоковольтном электрическом разряде (ЭР). Установлены закономерности связи состава рабочей среды с параметрами ЭР воздействия для оптимизации изменений фильтрационных характеристик в пористых материалах. Теоретически обоснованы и экспериментально определены условия для бездефектной регенерации фильтров.

Ключевые слова: высоковольтный электрический разряд, фильтр, пористость, проницаемость, давление волны сжатия, синергетический эффект.

Природные и синтезированные пористые материалы широко применяют для тонкой очистки жидких и газовых сред в нефтяной, газовой и нефтеперерабатывающей промышленности, гидрогеологии, машиностроении, санитарной технике и др. При фильтрации жидкостей через пористые материалы возникают осложнения: поры загрязняются различными видами отложений, как хрупкими (оксидами железа, песком, глиной, известью, гипсом, цементом, хлоридами кальция и магния), так и пластичными (асфальтенами, смолами, парафинами и др.). Все типы отложений снижают производительность (проницаемость) фильтров, поэтому в целях экономии целесообразно их регенерировать.

В настоящее время имеется ряд методов воздействия на пористые среды с целью восстановления их проницаемости — импульсные, взрывные, термические, химические (кислотная обработка), применение поверхностно-активных веществ, а также комбинации этих методов.

Известно [1, 2], что фильтрационные характеристики пористых сред, закольматированных солями, улучшаются за счет разрушения солей волнами сжатия и выноса их из зоны воздействия в результате нестационарной фильтрации рабочей технологической жидкости. Использование же электроразрядной технологии в фильтрах, закольматированных асфальтосмолопарафиновыми отложениями (АСПО), неэффективно, поскольку в этих случаях перечисленных факторов недостаточно для удаления вязкопластичных АСПО. По этой причине малоэффективными оказываются и другие импульсные методы.

© О. Н. Сизоненко, Э. И. Тафтай, Е. В. Липян, А. С. Торпаков,
А. Д. Зайченко, О. В. Кириченко, 2010

Исследования комплексного воздействия высоковольтного электрического разряда (ЭР) в растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процессы фильтрации и регенерации пористых сред показали перспективность такого подхода к проблеме управления фильтрационными характеристиками [3—5]. В работе [3] установлено, что использование в качестве рабочей среды при высоковольтном электрическом разряде растворов синтетических ПАВ способствует созданию синергетического эффекта в изменении фильтрационных характеристик пористых материалов глубинного залегания (осадочные горные породы). В этой связи возникает вопрос о том, как адаптировать этот способ к пористым материалам искусственного происхождения (фильтрам).

Цель работы — исследование особенностей регенерации фильтров искусственного происхождения при высоковольтном ЭР.

Объекты и методы исследования

Для исследований выбраны металловолоконные и полимерные фильтры (табл. 1, 2) одного диаметра — $d_{\phi} = 3 \cdot 10^{-2}$ м. Металловолоконные фильтры изготовлены из волокна 1X18H9T формованием и последующим спеканием в вакуумной печи при температуре 1250 °С. Полистирольные и полипропиленовые фильтры получены из порошков с размером частиц 5—25 мкм формованием и последующим спеканием.

Исследования выполняли на экспериментальном стенде, схема которого представлена на рис. 1. Стенд состоит из энергетической части, обеспечивающей заряд накопительной емкости C до рабочего напряжения

Т а б л и ц а 1. Исследуемые металловолоконные стальные фильтры

Номер образца	Материал	Толщина, мм	Пористость, %	Прочность при растяжении, МПа	Количество слоев	Диаметр волокон, мкм
1	Сталь 1X18H9T	1,0	60	19	2	40;10
2		1,8	60	19	1	40
3		2,1	50	32,5	1	40
4		3,1	70	9,5	1	40

Т а б л и ц а 2. Исследуемые полимерные фильтры

Номер образца	Материал	Толщина, мм	Пористость, %	Прочность при растяжении, МПа	Размер частиц порошка, из которого спечен фильтр, мкм
1	Полистирол	3,3	36	19,5	5—25
2	Полипропилен	4,8	50	8,0	5—25

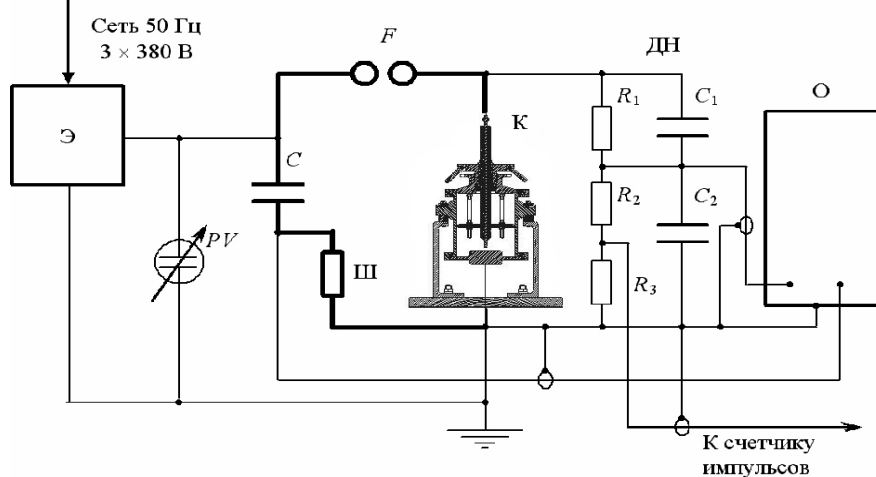


Рис. 1. Схема стенда: Э — энергетическая часть; PV — киловольтметр; C — накопительная емкость; Ш — шунт; F — воздушный разрядник; К — разрядная камера; R_1, R_2, R_3, C_1, C_2 — элементы делителя напряжений (ДН); О — запоминающий осциллограф.

от промышленной сети переменного тока, и разрядного контура, определяющего разряд емкости C через межэлектродный промежуток электродной системы разрядной камеры К (элементы разрядной цепи изображены линиями большей толщины). К днищу камеры подведен отрицательный потенциал обкладки накопителя C , а через воздушный разрядник F к электроду-острию — положительный. Острие электрода выполнено в виде стержня, узел крепления которого позволяет регулировать величину межэлектродного промежутка.

В процессе исследований регистрировались осциллограммы разрядного тока и напряжения на двухканальном запоминающем осциллографе Tektronix. Характеристики разряда записывались на USB Flash-накопитель и переносились на компьютер для первичной обработки и фильтрации сигналов в программном обеспечении “National Instruments Signal Express: Tektronix edition”. При этом определялась индуктивность разрядного контура, а затем по известным параметрам шунта (рис. 1, Ш) и делителя напряжения (рис. 1, ДН), используя программное обеспечение “MathCAD”, рассчитывали удельные характеристики разряда (максимум тока; длительность первого полупериода; долю энергии, выделившейся в первом полупериоде; скорость ввода энергии). Эти данные использовали для оценки пикового давления волны сжатия в любой точке камеры.

Способность фильтров пропускать газ характеризуется коэффициентом проницаемости согласно формуле [6]

$$k = \frac{Q\eta L_c}{\Delta P F_{\Pi}}, \quad (1)$$

где Q — объемный расход жидкости в единицу времени, м³/с; F_{Π} — площадь сечения керна, м²; η — динамический коэффициент вязкости жидкости или газа, Па·с; ΔP — избыточное давление, Па; L_c — длина пористой среды, м.

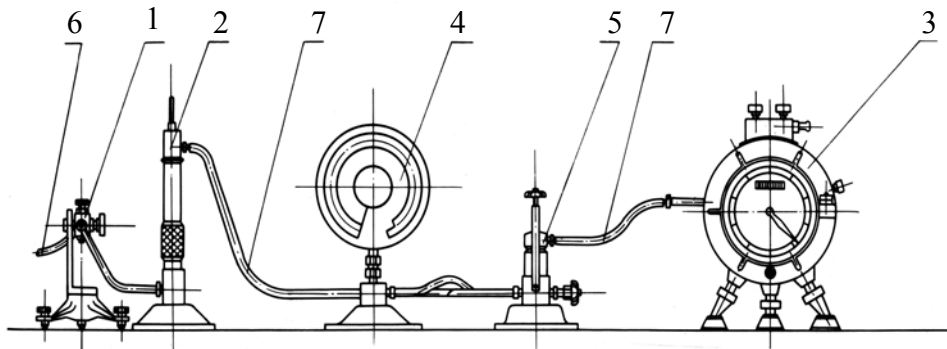


Рис. 2. Схема установки для исследования фильтрационных характеристик искусственных фильтров.

Фильтрационные характеристики пористых материалов исследовали на установке, схема которой представлена на рис. 2. Установка состоит из редуктора давления газа 1, очистителя 2, газового счётчика 3, измерителя 4, зажима струбиционного 5. Все части аппарата соединены резиновыми трубками 6, 7.

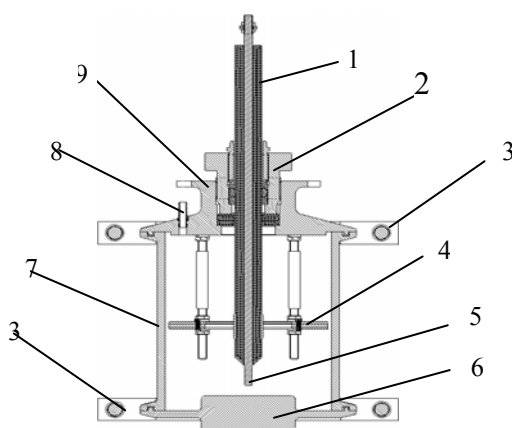
Фильтры загрязняли АСПО, в результате чего их пористость снижалась на 35—90% (в зависимости от типа фильтра). Распределение пор по размерам в фильтрах до и после электроразрядного воздействия определяли с помощью микроструктурных исследований на оптическом микроскопе “БИОЛАМ-И” с последующей обработкой полученных данных методом компьютерной металлографии.

Электроразрядную обработку загрязненных фильтров осуществляли в разрядной камере, схема которой приведена на рис. 3. Для исключения случайных ошибок, возможных при каждом опыте, измерения проводили не менее чем для восьми фильтров, которые одновременно вставляли в кассету 4 (рис. 3), и определяли среднее арифметическое значение всех результатов [7]. Среднеквадратичная ошибка σ_m в экспериментах была не более 0,04.

В качестве рабочей среды использовали дистиллированную воду и раствор НМК-РХ концентрацией 3 кг/м³. Исследования выполняли в режиме, который, как показали результаты работы [8], способствует активации растворов ПАВ, что приводит к снижению поверхностного

натяжения и энергии Гиббса, усиливая тем самым моющее действие. В работе [9]

Рис. 3. Схема разрядной камеры для регенерации фильтров: 1 — диэлектрическое покрытие; 2 — узел крепления электродной системы; 3 — кремальера; 4 — кассета для крепления фильтров; 5 — острие электрода; 6 — днище камеры; 7 — стенки камеры; 8 — газоотвод; 9 — крышка камеры.



установлено, что для изменения поверхностных свойств водных растворов ПАВ необходимы режимы разрядов, для которых наблюдается максимальное выделение энергии в первом полупериоде тока при $\eta > 0,5$ и его длительность более 10 мкс. Поэтому для исследования особенностей регенерации фильтров искусственного происхождения высоковольтными ЭР использованы приведенные режимы разрядов при зарядном напряжении $U_3 = 30$ кВ, емкости накопительной батареи конденсаторов $C_H = 2,4$ мкФ и вариации индуктивности разрядного контура L от 3 до 13 мкГн.

Результаты экспериментальных исследований

Необходимость восстановления проницаемости и пористости является общим принципом при воздействии на пористые материалы глубинного залегания и на пористые материалы искусственного происхождения. Однако если в осадочных горных породах ЭР воздействие способствует развитию дилатансионного разуплотнения и структурным изменениям породы [5], то воздействие на фильтры должно быть бездефектным и обеспечивать удаление загрязнений из каналов пор. Поэтому ЭР воздействие было направлено на интенсивное разуплотнение вязкопластичных загрязнений и их отслоение от металлических и полимерных поверхностей без повреждения структуры фильтра. Конструктивно фильтры размещали в кассете на расстоянии $r_\phi = 8 \cdot 10^{-2}$ м от оси камеры (рис. 4). При ЭР воздействии возникает волна сжатия, давление в которой по мере удаления от экваториальной плоскости разряда спадает [10]. Поэтому необходимо, исходя из прочностных характеристик обрабатываемых фильтров, определить положение кассеты, в которую устанавливались фильтры. При этом следует учитывать, что для снижения адгезионного взаимодействия загрязнений с фильтрующим материалом нужно уменьшить угол смачивания и поверхностное натяжение псевдоаморфной фазы. На рис. 4 представлена схема положения кассеты с фильтрами в камере.

Для определения давления фронта волны сжатия на стенке камеры применяется модель короткого цилиндра [10]:

$$P = \frac{U}{r} \sqrt{\frac{I_p}{L}} \cdot 10,1325, \quad (2)$$

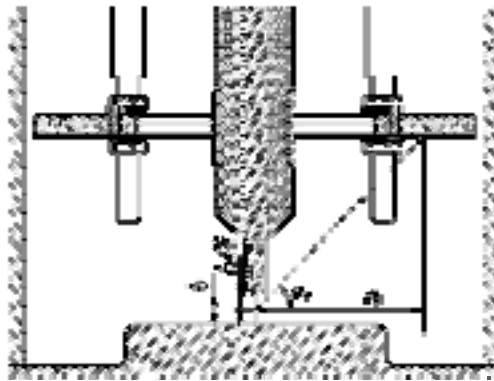


Рис. 4. Схема положения кассеты с фильтрами в камере: r_ϕ — расстояние от оси камеры до проекции центра вставленных в кассету обрабатываемых фильтров на экваториальную плоскость; ϕ_T — угол между радиусом-вектором центра обрабатываемых фильтров и экваториальной плоскостью разряда; l_p — длина межэлектродного промежутка, м.

где U — напряжение, В; r — расстояние от центра разрядного канала до стенки камеры, м; l_p — длина межэлектродного промежутка, м; L — индуктивность разрядного контура, Гн.

Зная угол ϕ между радиусом-вектором рассматриваемой точки и экваториальной плоскостью разряда, можно рассчитать пиковое давление волны сжатия в любой точке разрядной камеры [11], пользуясь формулой

$$P(\phi) = P \left[\frac{3}{2} \left| \phi \right| \cdot \left(\frac{\phi}{\pi} - 1 \right) + 1 \right], \quad (3)$$

где P — пиковое давление волны сжатия в точке, соответствующей проекции точки, для которой производится расчет на экваториальную плоскость разряда, Па; ϕ — угол между радиусом-вектором рассматриваемой точки и экваториальной плоскостью разряда, рад.

Преобразуя формулу (3), можно рассчитать минимальный угол ϕ_T между радиусом-вектором центра обрабатываемых фильтров и экваториальной плоскостью разряда, чтобы давление волны сжатия не превышало предел прочности материала при растяжении:

$$\phi_T = 90 \left(1 - \sqrt{1,25 \cdot \left(\frac{P_T}{P} \right) - 0,25} \right), \quad (4)$$

где P_T — максимально допустимое для материала давление, Па.

Используя формулы (3), (4), можно построить пространственное распределение пиковых давлений волны сжатия в плоскости, перпендикулярной экваториальной плоскости разряда (рис. 5).

Теоретические исследования показали, что для обеспечения целостности исследуемых фильтров необходимо устанавливать угол между радиусом-вектором центра обрабатываемых фильтров и экваториальной плоскостью разряда в диапазоне $35\text{--}50^\circ$ при расстоянии от оси камеры до нормали, опущенной от центра вставленных в кассету фильтров к экваториальной плоскости разряда, $r_\phi = 8 \cdot 10^{-2}$ м.

Поскольку при исследованиях напряжение U было неизменным, следует ожидать, что значения пикового давления волны сжатия при одной и той же индуктивности разрядного контура L будут различаться в пределах статистической погрешности, обусловленной случайным характером процессов электрического пробоя жидкости. Расчеты согласно

формуле (2) показали, что ожидаемое теоретическое значение пикового давления волны сжатия в точке, соответствующей проекции центра обрабатываемых фильтров, составляет $P = 36,9$ МПа. Следо-

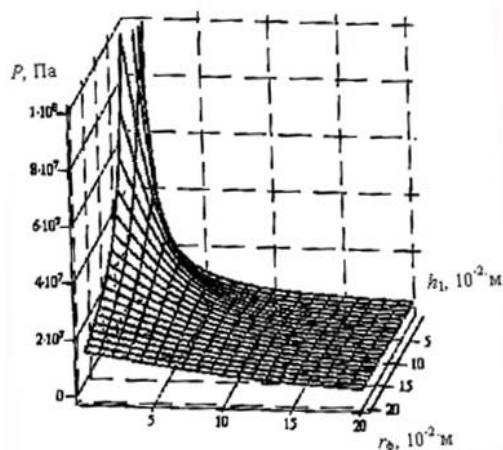


Рис. 5. Пространственное распределение пиковых давлений волны сжатия в плоскости, перпендикулярной экваториальной плоскости разряда.

вательно, ожидаемое пиковое давление волны сжатия на фильтрах, расположенных в кассете под углом 47° к экваториальной плоскости разряда, согласно формуле (3), будет составлять 14,3 МПа.

Для расчетов пикового давления на фронте волны сжатия на фильтрах использовали экспериментальные данные не менее 10 осциллограмм тока и напряжения после статистической обработки. Расчеты показали, что при исследуемых режимах разрядов при использовании в качестве рабочей среды дистиллированной воды среднее расчетное значение пикового давления волны сжатия составляет 14,2 МПа (минимальное — 12,3 МПа и максимальное — 14,2 МПа). При использовании в качестве рабочей среды водного раствора НМК-РХ минимальное и максимальное значения пикового давления волны сжатия практически совпадают и составляют 11,5 МПа.

Разница в уровнях давлений в этих средах объясняется тем, что удельное электрическое сопротивление дистиллированной воды (>1000 Ом·м) значительно выше, чем у водных растворов ПАВ (удельное сопротивление водного раствора НМК-РХ концентрацией 3 кг/м³ — ~ 39 Ом·м). Как следствие, потери на предпробойной стадии при обработке в дистиллированной воде ниже, а уровни давлений несколько выше, чем при обработке в растворе НМК-РХ.

Увеличение индуктивности разрядного контура до $L = 13$ мкГн приводит к снижению среднего значения пикового давления волны сжатия на фильтрах до 6,3 МПа, что примерно в 2 раза ниже, чем при $L = 3$ мкГн.

Следовательно, для бездефектной регенерации металловолоконных фильтров № 4 (см. табл. 1) и полипропиленовых № 2 (см. табл. 2), у которых прочность при растяжении σ_p составляет 9,5 и 8,0 МПа соответственно, при пиковом давлении волны сжатия не более 6,3 МПа необходимо увеличивать индуктивность разрядного контура.

Для оценки влияния раствора ПАВ на фильтрационные характеристики загрязненных фильтров их погружали в раствор ПАВ на сутки, а затем оценивали их проницаемость. Эксперимент показал низкую эффективность влияния раствора ПАВ, увеличение проницаемости всех типов фильтров было менее 3%.

На рис. 6 представлены результаты ЭР обработки металловолоконных двухслойных фильтров № 1 ($\delta = 1$ мм, см. табл. 1), у которых коэффициент проницаемости до загрязнения составлял $k = 8,5 \cdot 10^{-12}$ м². Как следует

из представленных зависимостей, после ЭР воздействия с интегральной энергией на единицу объема фильтра $W_{\phi} = 2,5 \text{ Дж/мм}^3$ в дистиллированной воде при $L = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ коэффициент проницаемости загрязненных

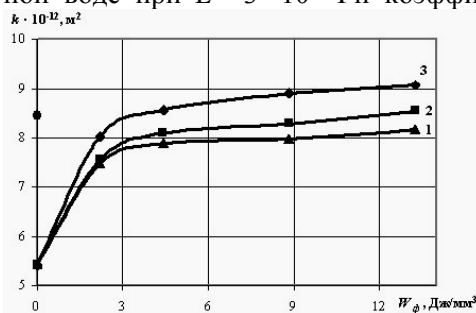


Рис. 6. Зависимость коэффициента проницаемости k металловолоконного фильтра из стали 1Х18Н9Т от интегральной энергии на единицу объема фильтра W_{ϕ} : 1 — ЭР в дистиллированной воде при $L = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$; 2 — ЭР в растворе ПАВ при $L = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$; 3 — ЭР в растворе ПАВ при $L = 13 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$.

до $k = 5,42 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ фильтров увеличивается на $\sim 60\%$. При дальнейшем воздействии наблюдается монотонно возрастающая зависимость проницаемости от удельной энергии воздействия. Стабилизация проницаемости наступает при $4,42 \text{ Дж/мм}^3$, проницаемость увеличивается на $\sim 70\%$, но полной регенерации фильтров с повышением удельной энергии не происходит.

Комплексное воздействие электрического разряда и водного раствора НМК-РХ, используемого в качестве рабочей среды, приводит к возникновению синергетического эффекта и способствует увеличению проницаемости фильтров. Эффективность комплексного воздействия в 2 раза превысила сумму эффектов от каждой составляющей. При разряде в дистиллированной воде стабилизация проницаемости наступает при $4,42 \text{ кДж/мм}^3$, проницаемость повышается на $\sim 90\%$, но полной регенерации фильтров с увеличением числа импульсов не происходит. При росте индуктивности разрядного контура, то есть увеличении длительности первого полупериода тока, эффективность ЭР воздействия в растворе ПАВ повышается. При энергии $4,42 \text{ Дж/мм}^3$ проницаемость фильтров полностью восстанавливается, дальнейшее воздействие способствует раскрытию новых пор, стабилизация проницаемости происходит при $13,26 \text{ Дж/мм}^3$.

Исходная проницаемость однослойных фильтров № 2 ($\delta = 1,8 \text{ мм}$, см. табл. 1) в два раза выше ($k = 16,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$), чем у двухслойных № 1 (см. табл. 1), из-за отсутствия тонкого слоя диаметром волокон 10 мкм . Как видно на рис. 7, а, ЭР воздействие в растворе ПАВ при $L = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ оказало незначительное влияние на проницаемость загрязненных фильтров. Однако увеличение индуктивности до $L = 13 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ позволило восстановить проницаемость фильтров при больших затратах энергии, чем для фильтров № 1 (рис. 6). Электроразрядное воздействие на эти фильтры в дистиллированной воде не изменило их проницаемости.

Фильтры № 3 (см. табл. 1) при толщине $2,1 \text{ мм}$ до загрязнения имели проницаемость $k = 7,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, в результате их загрязнения АСПО проницаемость снизилась до $0,65 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$. Как видно на рис. 6, ЭР воздействие в растворе ПАВ при $L = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ позволило увеличить проницаемость до $2,9 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, наблюдалась монотонно возрастающая зависимость проницаемости от удельной энергии воздействия на единицу объема фильтра,

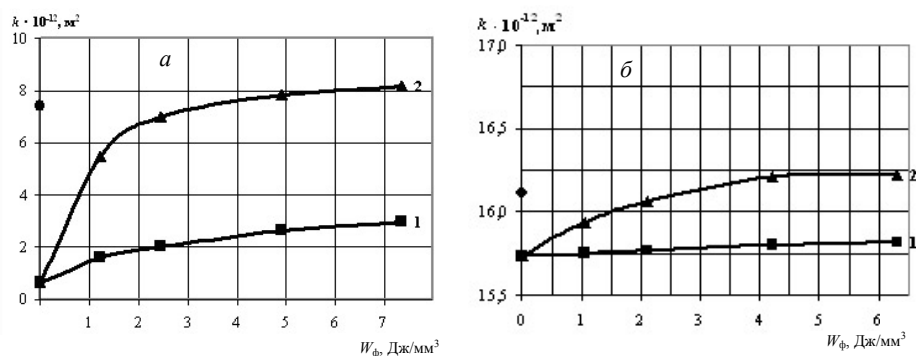


Рис. 7. Зависимость коэффициента проницаемости k металловолоконного фильтра из стали 1Х18Н9Т (образцы № 2 (а) и № 3 (б)) от интегральной энергии на единицу объема фильтра W_{ϕ} : 1 — ЭР в растворе ПАВ при $L = 3 \cdot 10^{-6}$ Гн; 2 — ЭР в растворе ПАВ при $L = 13 \cdot 10^{-6}$ Гн.

однако полной регенерации не наступило. При увеличении индуктивности в растворе ПАВ до $L = 13 \cdot 10^{-6}$ Гн скорость роста проницаемости повысилась примерно в 5 раз и уже при $3,68 \text{ Дж/мм}^3$ наступила полная регенерация фильтров № 3 (рис. 7, б). Воздействие в воде так же, как и у фильтров № 2, не оказало влияния на проницаемость в используемых диапазонах индуктивностей.

Наибольшую начальную проницаемость $k = 28,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ и пористость 70% в наших исследованиях имели фильтры № 4 (см. табл. 1) толщиной 3,1 мм, при этом их прочность при растяжении составляла 9,5 МПа. Поэтому воздействовать бездефектно на эти фильтры можно было только при режиме с индуктивностью $13 \cdot 10^{-6}$ Гн, при которой значения пикового давления волны сжатия были не более 6,3 МПа. Как следует из рис. 8, полная регенерация фильтров наступает при $2,14 \text{ Дж/мм}^3$, а дальнейшее воздействие способствует раскрытию новых пор. Стабилизация проницаемости происходит при $4,28 \text{ Дж/мм}^3$. Подобное воздействие в воде не позволяет достичь полной регенерации фильтров.

Несколько иначе происходит процесс регенерации полистирольных фильтров толщиной 3,3 мм (рис. 9). Объясняется это тем, что они имеют более низкую пористость, чем металловолоконные фильтры, — $\sim 36\%$ (см. табл. 1 и 2) и, соответственно, проницаемость, которая в исходном состоянии составляла $0,97 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$. У полистирольных фильтров наблюдается линейная зависимость проницаемости от количества импульсов, как в дистиллированной воде, так и в растворе ПАВ, с той разницей, что разряд в воде не позволяет полностью восстановить проницаемость (проницаемость восстанавливается на $\sim 80\%$), а разряд в растворе ПАВ полностью регенерирует фильтры при удельной энергии $\sim 4,02 \text{ Дж/мм}^3$. Увеличение индуктивности так же, как и в металловолоконных фильтрах, способствует повышению эффективности воздействия при тех же затратах энергии.

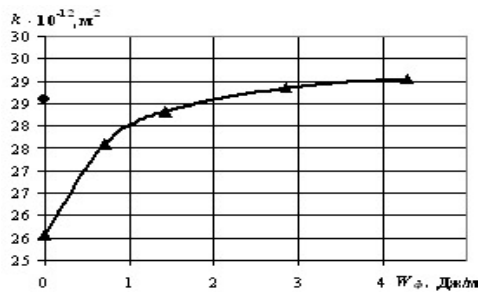


Рис. 8. Зависимость коэффициента проницаемости k металловолоконного фильтра из стали 1X18H9T (образец № 4), обработанного в растворе ПАВ при $L = 13 \cdot 10^{-6}$ Гн, от интегральной энергии воздействия на единицу объема фильтра W_{ϕ} .

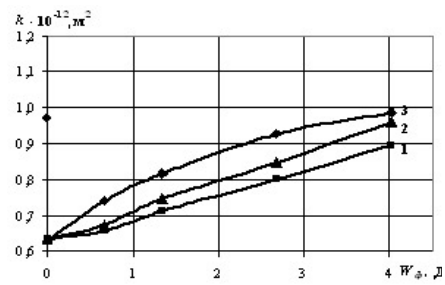


Рис. 9. Зависимость коэффициента проницаемости k полистирольного фильтра от интегральной энергии воздействия на единицу объема фильтра W_{ϕ} : 1 — ЭР в дистиллированной воде при $L = 3 \cdot 10^{-6}$ Гн; 2 — ЭР в растворе ПАВ при $L = 3 \cdot 10^{-6}$ Гн; 3 — ЭР в растворе ПАВ при $L = 13 \cdot 10^{-6}$ Гн.

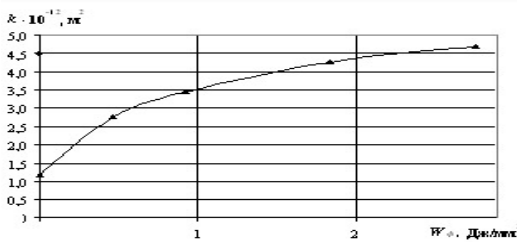


Рис. 10. Зависимость коэффициента проницаемости k полипропиленового фильтра, обработанного в растворе ПАВ при $L = 13 \cdot 10^{-6}$ Гн, от интегральной энергии воздействия на единицу объема фильтра W_{ϕ} .

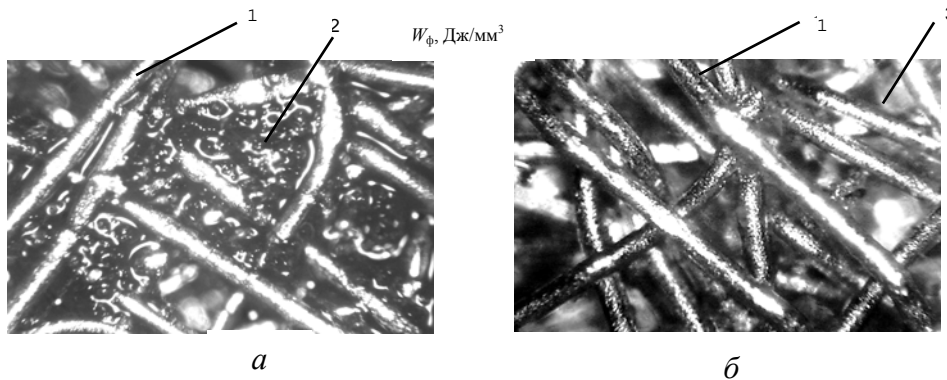


Рис. 11. Микроструктура металловолоконного фильтра из стали 1X18H9T: *a* — загрязненный фильтр до ЭР воздействия; *б* — фильтр после ЭР воздействия; 1 — волокна фильтров; 2 — АСПО; 3 — чистые поры.

Полипропиленовые фильтры при толщине 4,8 мм имели исходную проницаемость $4,48 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, что выше, чем у полистирольных. Воздействие разрядами с высокими параметрами давления волны сжатия недопустимо ввиду того, что прочность при растяжении этих фильтров составляла 8 МПа. Электрический разряд в воде не позволяет полностью регенерировать фильтры даже при энергии $2,76 \text{ Дж/мм}^3$, в то же время в условиях обработки в растворе ПАВ полная регенерация наступает при энергии $2,30 \text{ Дж/мм}^3$ (рис. 10).

Микроструктура металловолоконных стальных 1X18H9T фильтров на примере образцов № 1 (см. табл. 1) наглядно демонстрирует (рис. 11), что

после ЭР воздействия поры очистились и произошла полная регенерация.

Выводы

Установлены закономерности связи состава рабочей среды с параметрами электроразрядного воздействия для оптимизации изменений фильтрационных характеристик в пористых материалах.

Теоретически обоснованы и экспериментально определены условия бездефектной регенерации фильтров, включающие выбор:

рабочей среды — водных растворов анионоактивных, неионогенных или их смеси с ПАВ;

угла между радиусом-вектором центра обрабатываемых фильтров и экваториальной плоскостью разряда;

режима ввода энергии, который обеспечивает длительность разрядного тока первой полуволны более 10 мкс и максимальное выделение энергии в первом полупериоде тока при $\eta > 0,5$;

интегрального количества энергии на единицу объема фильтра в зависимости от материала фильтра, его пористости и проницаемости в диапазоне 2,5—4,0 Дж/мм³.

Способ создания неаддитивного эффекта в изменении фильтрационных характеристик пористых материалов, насыщенных жидкостью, при электроразрядном воздействии заключается:

в выборе рабочей среды с добавкой анионоактивных, неионогенных или их смеси с ПАВ, которая должна быть химически активной к виду отложений в пористом материале;

в установлении временного режима циклического воздействия в зависимости от типа материала, пористости и характера отложений. Созданный эффект в 2 раза превышает сумму эффектов от воздействия, которое оказывают самостоятельно ПАВ и электрический разряд. Он адаптирован к пористым материалам искусственного происхождения.

Разработаны рекомендации для создания электроразрядной технологии интенсификации фильтрационных процессов и регенерации пористых сред различного происхождения.

1. Сизоненко О. Н., Швец И. С. Особенности электроразрядной технологии интенсификации фильтрационных процессов в нефтяных коллекторах // Современные проблемы электрофизики и электродинамики жидкостей. — Санкт-Петербург: НИИ, 1988. — С. 137—139.
2. Сизоненко О. Н., Швец И. С., Кучернюк А. В. Применение электроразрядного воздействия для обработки добывающих и нагнетательных скважин // Нефтяное хозяйство. — 2000. — № 12. — С. 133—135.
3. Сизоненко О. Н. Синергетический эффект в изменении фильтрационных характеристик пористых, насыщенных жидкостью, сред при электроразрядном воздействии // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: Ин-т геотехн. механики. — 2003. — Вып. 42. — С. 173—186.
4. Сизоненко О. Н., Шерстнев Н. М. Особенности изменения фильтрационных характеристик пород-коллекторов при реагентно-импульсном воздействии // Нефтяное хозяйство. — 2001. — № 4. — С. 49—51.
5. Сизоненко О. Н., Райченко А. И., Косенков В. М. Поведение примесей в слабопроводящей пористой среде с флюидами при импульсном давлении, возбуждаемом электрическим разрядом // Порошковая металлургия. — 2006. — № 11/12. — С. 3—14.
6. Косторнов А. Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. Т. 2. — К.: Наук. думка, 2003. — 550 с.

7. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин.- Л.: Наука, 1974.- 106 с.
8. Сизоненко О. Н., Тафтай Э. И., Малая Р. И. и др. Влияние высоковольтных импульсных разрядов в растворах поверхностно-активных веществ на их основные свойства // Вестник Национального техн. ун-та “Харьковский политехнический институт”: Сб. науч. тр. — Харьков: НТУ “ХПИ”. — 2008. — № 21. — С. 150.
9. Сизоненко О. Н., Тафтай Э. И., Малая Р. И. и др. К вопросу о влиянии индуктивности разрядного контура при высоковольтных электрических разрядах в растворах поверхностно-активных веществ на их основные свойства // Вестник Национального техн. ун-та “Харьковский политехнический институт”: Сб. науч. тр. — Харьков: НТУ “ХПИ”. — 2008. — № 44. — С. 180.
10. Наугольных К. А. Электрические разряды в воде. — М.: Наука, 1971. — 155 с.
11. Шамко В. В., Кучеренко В. В. Теоретические основы инженерных расчетов энергетических и гидродинамических параметров подводного искрового разряда. — Николаев: Ин-т импульсных процессов и технологий АН Украины, 1991. — 51 с. — (Препр. / АН Украины, Ин-т импульсных процессов и технологий; № 20).

Регенерація пористих матеріалів методом високовольтного електричного розряду в рідині

О. М. Сизоненко, Є. І. Тафтай, Є. В. Липян,
А. С. Торпаков, А. Д. Зайченко, О. В. Кириченко

Досліджено особливості регенерації фільтрів штучного походження при високовольтному електричному розряді (ЕР). Встановлено закономірності зв'язку складу робочого середовища з параметрами ЕР впливу для оптимізації змін фільтраційних характеристик в пористих матеріалах. Теоретично обґрунтовано й експериментально встановлено умови для бездефектної регенерації фільтрів.

Ключові слова: високовольтний електричний розряд, фільтр, пористість, проникність, тиск хвилі стиснення, синергетичний ефект.

Regeneration of porous materials by the method of the high-voltage electric discharge in the liquid

O. Sizonenko, E. Taftay, E. Lipyn, A. Torpakov, A. Zaychenko,
O. Kirichenko

The traits of artificial origin filter regeneration with the high-voltage electric discharge (ED) are researched. The laws of connection of the working environment with the parameters of the ED effect in order to optimize the porous materials filtration characteristics changes are found. Conditions for defect-free filter regeneration were theoretically substantiated and experimentally established, which are the choice of: the working environment - water solutions of anionic, nonionic or a mixture of surfactants, the angle between the radius vector of the centers of processed filters, and the equatorial plane of the discharge channel, the integral energy of processing depending on the material of the filter, its porosity and permeability.

Keywords: high-voltage electric discharge, filter, porosity, permeability, pressure of the pressure wave, the synergetic effect.