

С.М. Простов, профессор, д.т.н.

М.В. Гуцал, доцент, к.т.н.

Е.А. Шабанов, аспирант

(КузГТУ, г. Кемерово)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ В КУЗБАССЕ

По состоянию на 01.07.2013 на территории Кемеровской области действуют более 80 предприятий, из них более 40 предприятий угледобывающего и перерабатывающего профиля, эксплуатирующих объекты размещения отходов различного рода: накопители различного назначения (шламовые, иловые и т.д., более 10), отвалы (отвалы вскрышных пород, гидрозолоотвалы, золоотвалы, шламоотвалы и т.д., более 170), отстойники карьерных и ливневых вод (более 50). Кроме того в области действуют более 10 предприятий, эксплуатирующих закрытые радионуклидные источники.

Из загрязнителей грунтов можно выделить: отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти, угля, газа, горючих сланцев и торфа, отходы неорганических кислот, соли азота, нитриты, сульфаты, металлургические шлаки, съемы и пыль, минеральные шламы, соли тяжелых металлов, фенолы, хлорорганика, радионуклиды. В качестве примера можно отметить, что только в угольной золе содержится до 70 различных элементов, в т.ч. высокотоксичных (мышьяк - 200 г/т, уран - 400 г/т, свинец - 200 г/т), а содержание в грунтах таких токсичных веществ, как кадмий (0,3 - 0,88 мг/кг), никель (21,5 - 28,9 мг/кг) и цинк (71,3 - 76,9 мг/кг) превышает ПДК в несколько раз.

Из существующих методов и способов очистки грунтов от промышленных загрязнителей (рис. 1), потенциально перспективным методом очистки грунтов является электрохимический метод. Отличительной особенностью метода является возможность его применения для очистки грунтов с низкой фильтрационной способностью непосредственно на месте загрязнения, без выемки и перемещения грунта.

В основе этого метода лежит электроосмотическое перемещение экотоксиканта, предварительно переведенного в подвижное состояние с помощью реагентов. В процессе очистки загрязнения перемещаются вдоль силовых линий электрического поля, распределение которых определяется расположением электродов, скорость перемещения

загрязнителя при этом зависит от напряженности поля, что позволяет контролировать процесс очистки и управлять им. Исходные концентрации экотоксикантов могут быть снижены с 10-50 мг/кг до 1-10 мг/кг, что вполне укладывается в существующие нормы.

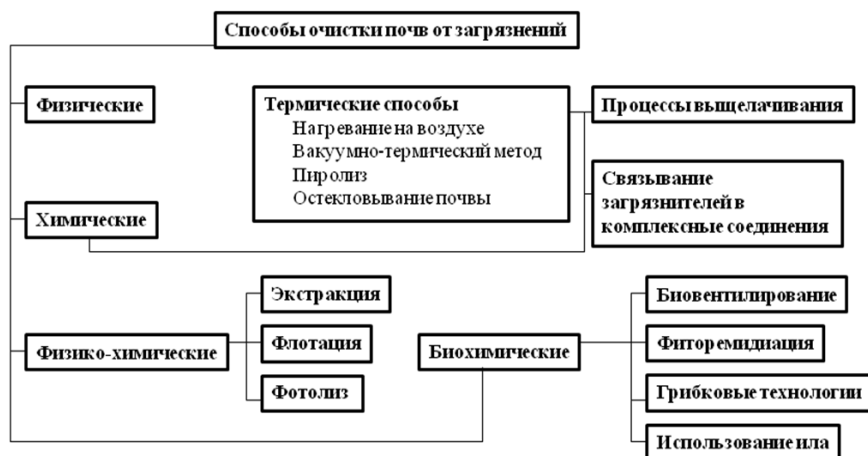


Рис. 1.
Классификация методов очистки загрязненных грунтов

Электроосмотическое течение раствора в единичном капилляре подчиняется уравнению Гельмгольца - Смолуховского, полученного интегрированием функции потенциала двойного электрического слоя, возникающего на границе адсорбирующей поверхности твердой фазы с электролитом [1]:

$$\bar{V} = - \frac{\varepsilon \zeta}{\mu} \text{grad} \varphi,$$

где \bar{V} - средняя по сечению капилляра скорость течения, м/с; ε - абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м; μ - коэффициент динамической вязкости раствора, Па·с; ζ - электрокинетический потенциал, В; φ - потенциал внешнего электрического поля, В.

На основе анализа размерностей получена зависимость для модуля эффективной скорости $V_{\text{Э}}$ (расхода):

$$V_{\text{Э}} = C \sigma_0 \frac{m^2 R}{\mu} E = \frac{m \zeta \varepsilon}{\mu} E = K_{\text{Э}} E,$$

где C - постоянная; σ_0 - удельная объемная плотность зарядов ионов диффузного слоя, Кл/м³; m - пористость грунта; R - гидравлический радиус, пор, м; $K_{\text{Э}}$ - коэффициент электроосмотической активности, м²/(В·с); E - напряженность поля, В/м.

В знаменатели приведенных формул следует ввести эффективное удельное электросопротивление массива (УЭС) ρ , поскольку интенсивность электроосмотических и электрофильтрационных процессов определяется не напряженностью поля E , а плотностью тока.

Далее представлен анализ влияния рассмотренных параметров среды на эффективность электроосмотического воздействия.

Экспериментальные данные о диапазонах изменения параметров грунтов: $K_{\text{э}}$ и коэффициента фильтрации $K_{\text{ф}}$ (получены различными отечественными и зарубежными авторами), m (для условий угольных месторождений Кузбасса [2]) представлены в табл. 1, из которой следует, что величина $K_{\text{э}}$ для всех видов грунтов относительно стабильна, поскольку ее изменение не превышает одного порядка.

Таблица 1

Основные параметры грунтов в зонах электроосмотической обработки

Тип грунта	$K_{\text{э}}, \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$K_{\text{ф}}, \text{м/с}$	m
Супеси	$(3,8-8,5) \cdot 10^{-1}$	$(2,2-3,2) \cdot 10^{-6}$	0,180-0,443
Суглинки	$(0,6-10) \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-10} - 8 \cdot 10^{-7}$	0,195-0,481
Глины	$(1,77-13) \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-11} - 6 \cdot 10^{-10}$	0,187-0,533
Ил	$(0,9-3) \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-12} - 10^{-10}$	-

Вместе с тем, диапазон изменения $K_{\text{ф}}$ достигает 6 порядков. Поскольку в легко проницаемых породах ($K_{\text{ф}} > 10^{-8} - 10^{-7}$ м/с, супеси, пески, гравелиты) водопонижение или укрепление вполне осуществимо традиционными методами, электроосмотическая обработка целесообразна только при $K_{\text{ф}} < 10^{-7}$ м/с (10^{-2} м/сут).

Другим важным параметром, определяющим эффективность применения электроосмотической обработки грунтов, является УЭС грунтов. Экспериментально установлено, что диапазон оптимальной плотности тока составляет $j = 6-20$ А/м². При напряжении силового источника питания $U < 100$ В данный режим обработки соответствует $\rho < 2-20$ Ом·м [3].

Грунты разделены на 3 основные группы (табл. 2) по степени эффективности электроосмотической обработки (ПО «Спецтампоажгеология»).

Таблица 2

Классификация пород и грунтов по степени эффективности электроосмотической обработки

Параметр	Наиболее эффективна	Ограниченно эффективна	Неэффективна
$K_{\text{ф}}, \text{м/с}$	$< 10^{-8}$	$10^{-8} - 10^{-6}$	$> 10^{-6}$
$K_{\text{э}}/K_{\text{ф}}, \text{м/В}$	$> 10^7$	$10^7 - 10^5$	$< 10^5$
$\rho_{\text{к}}, \text{Ом} \cdot \text{м}$	< 8	8-20	> 20

Для контроля процессов водонасыщения зоны обработки, изменения концентрации загрязняющих веществ и управления основными технологическими параметрами целесообразно использование методов электромагнитозондирования.

Список литературы

1. Ломизе, Г. М. Электроосмотическое водопонижение / Г. М. Ломизе, А. В. Нетушил. – М.: Госэнергетическое изд-во. – 1958. – 176 с.
2. Штумпф, Г. Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна / Г. Г. Штумпф, Ю. А. Рыжков, В. А. Шаламанов, А. И. Петров. – М.: Недра. – 1994. – 447 с.
3. Хямяляйнен, В. А. Электрическое поле при фильтрации инъекционного раствора / В. А. Хямяляйнен, С. М. Простов. // ФТПРПИ. – 1995. - №4. – С. 52-56.

УДК 622.235(088.8): 519.21

Д.Ю. Сирота, доцент, к.т.н.
(КузГТУ, г. Кемерово)

КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представленная заметка является продолжением исследований, начатых в [1] по поиску кинетической модели, которая бы более адекватно отражала процесс накопления трещин при возрастающей нагрузке.

Напомним, что исследования школы С.Н. Журкова [2] показали, что долговечность многих материалов (металлов, кристаллов, полимеров и др.) определяется по формуле

$$(1) \quad \tau = \tau_0 * \exp(\beta) * \exp(-\alpha \cdot \sigma),$$

где $\alpha = \gamma * (k T)^{-1}$, $\beta = U_0 * (k T)^{-1}$, $\tau_0 \approx 10^{-13}$ – период тепловых атомных колебаний около положения равновесия, с; γ – активационный объем, м³; U_0 – энергия активации разрушения, Дж; k – постоянная Больцмана, Дж⁰/К; T – абсолютная температура пород, ⁰К; σ – среднее внешнее напряжение на образец, Па.

Для определения зависимости числа импульсов N от величины напряжения σ в случае зависимости (1) получаем выражение [5]

$$(2) \quad N(\sigma) = \frac{N^*}{\tau_0 \cdot \sigma'} * \exp(-\beta) * \frac{\exp(\alpha \cdot \sigma) - 1}{\alpha},$$

Исследования показали, что применение формулы (2) к анализу процесса накопления трещин в образцах горных пород (известняк, кварцевый диорит, роговик) приводит к отрицательным значениям величины α , при формально большом (не меньше 0,9) индексе