

УДК 624.130:504.064.2:550.837.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНАХ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ГРУНТОВ

Кулик Д.П., студент гр. ФПс-141, III курс

Гуцал М.В., к.т.н., доцент

Научный руководитель: Простов С.М., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Процесс электроосмотической обработки грунтов характеризуют следующие параметры: коэффициент фильтрации k_ϕ , скорость и коэффициент электроосмоса k_ε , и электроосмотической активности ($k_a = k_\varepsilon / k_\phi$). Чтобы определить фильтрационные характеристики, согласно стандартам, необходимо специальное лабораторное оборудование, такое как: фильтрационно-компрессионный прибор, стандартный [1, 2], или адаптированный для электрофильтрации [3]; пробоотборники различной конструкции для взятия проб грунта. Представленные в работах [4, 5, 6] исследования, также указывают на необходимость специального лабораторного оборудования, либо уникальных экспериментальных установок и стендов.

Многие исследователи с целью получения дополнительной информации, детализации полученных данных, прогнозирования возможных результатов, получения возможности рассмотреть проблему в развитии прибегают к математическому моделированию тех или иных этапов физического эксперимента.

В данной работе рассмотрена методика косвенной оценки указанных выше электро- и гидродинамических параметров с использованием результатов физического [7] и компьютерного моделирования зоны электроосмотической обработки глинистого грунта.

Классическое уравнение электроосмотической фильтрации, представленное в работе [4], имеет следующий вид:

$$\bar{V} = k_\varepsilon \overline{grad \varphi} + k_\phi \overline{grad h} = k_\phi \overline{grad (k_a \varphi + h)}, \quad (1)$$

где $\bar{V}$ - скорость частиц (ионов); φ - электрический потенциал; h - напор; k_ϕ , k_ε , k_a - соответственно, коэффициенты фильтрации, электроосмоса и электроосмотической активности.

Следует учесть, что аналитическое решение уравнения (1), вследствие происходящих непрерывно изменений электро- и гидродинамических параметров обрабатываемого массива, с достаточной точностью не представляется возможным. Для получения более детализированной информации для таких условий целесообразно нестационарный процесс рассматривать как череду сменяющих друг друга последовательно стационарных состояний.

Для реализации метода разработан программный комплекс, блок-схема которого приведен на рис. 1.

В качестве исходных данных использованы базы данных, приведенные в монографии [7].

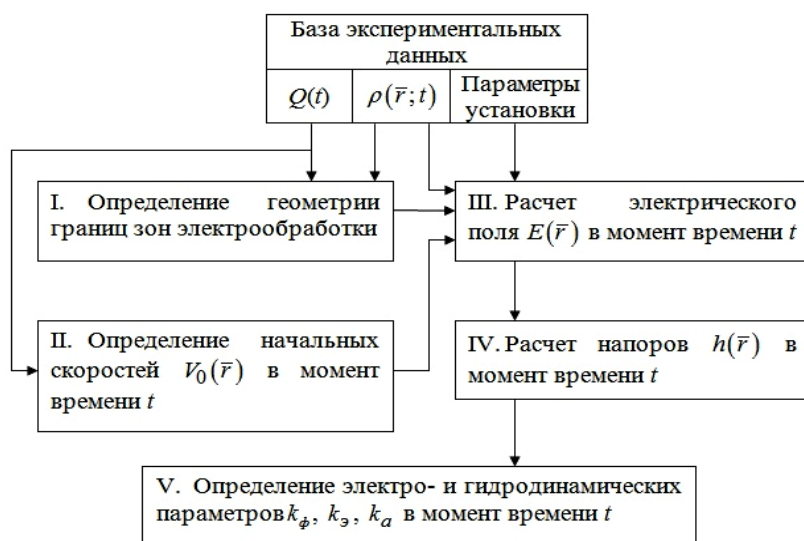


Рис. 1. Блок-схема экспериментально-компьютерной модели:
 Q – расход; ρ – УЭС;
 $\bar{r}$ – координата;
I-V – этапы расчета

Расчет условно разбит на пять этапов (I-V).

На первом этапе определяют размеры формирующихся в процессе электроосмотической обработки грунта характерных зон.

За исходную базу экспериментальных данных приняты графики относительного удельного электросопротивления (УЭС) $\rho(x, I \cdot t)$, представленные на рис. 2, где x – координата по оси установки, I – ток, t – время.

На втором этапе по фиксируемому в ходе эксперимента выходу из электрода-инъектора жидкости Q производят расчет начальной скорости электроосмоса V_0 , принимаемой за эталон.

На рис. 3 приведены результаты расчета относительной скорости электроосмоса $V/V_0(t, x)$.

На третьем этапе определяют скорость изменения процесса электроосмоса, приняв за характеристику этого изменения разницу площадей под графиками УЭС $\rho(\bar{r})$:

$$V_{si} = K_1 \frac{(S_{i+1} - S_i)}{S_i}, \quad (2)$$

где S_i и S_{i+1} – площади под графиками УЭС, соответствующие предыдущему и последующему моменту замера; K_1 – корректирующий коэффициент, определяемый из сравнения начальной скорости V_0 , принятой за эталон, и скорости, рассчитанной по формуле (2) без учета корректировки.

На третьем этапе с использованием программ раздела PDE библиотеки MATLAB, реализующих метод конечных элементов, проводят расчет электрического поля установки.

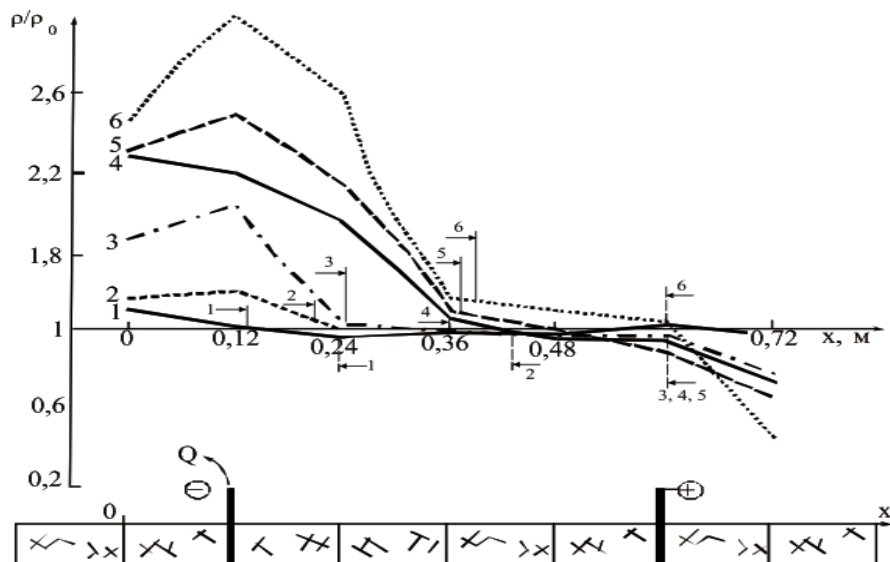


Рис. 2. Зависимость относительного УЭС ρ/ρ_0 от $I \cdot t$ и координаты установки датчика x в зоне электроосмотической обработки:

1 – $I \cdot t = 5,6 \text{ А} \cdot \text{ч}$; 2 – 8; 3 – 18; 4 – 22; 5 – 30; 6 – 54

→ - граница зоны осушения; ← - граница зоны скопления влаги

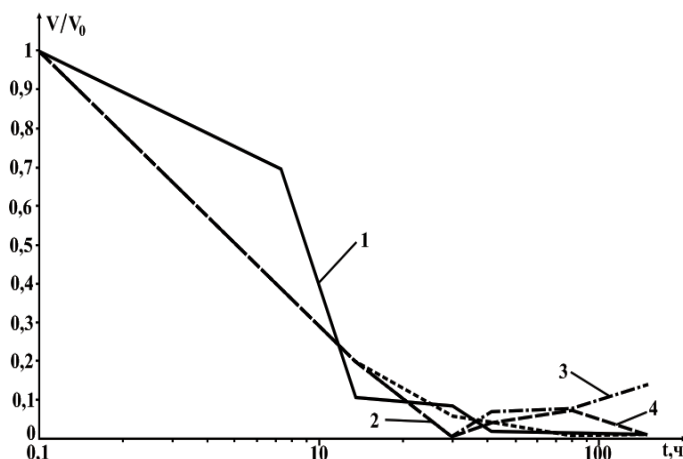


Рис. 3. Изменение относительной скорости электроосмоса

1 – скорость, рассчитанная по выходу жидкости; 2, 3 и 4 – расчетная скорость в, соответственно, зоне осушения, промежуточной зоне и зоне накопления влаги

Для задания в модели неоднородности приняты следующие допущения:

- относительная диэлектрическая проницаемость исходного массива имеет значение, соответствующее принятому для влажной глины ($\epsilon = 27$);
- величины ϵ зон, образованных в ходе обработки, соответствуют глине влажной, увлажненной и сухой ($\epsilon = 27, 18$ и 7);
- размеры компьютерной модели и режим обработки соответствовали физической модели [7], а размеры трех зон изменяли в соответствии с данными, полученными на первом этапе.

На последующих этапах, в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [8], принято начальное значение $k_s = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, а также, учитывая средние значения относительной скорости фильтрации по зонам, для каждой зоны с течением времени рассчитаны зависимости электроосмотических и гидродинамических параметров k_ϕ , k_ϵ , k_a (рис 4).

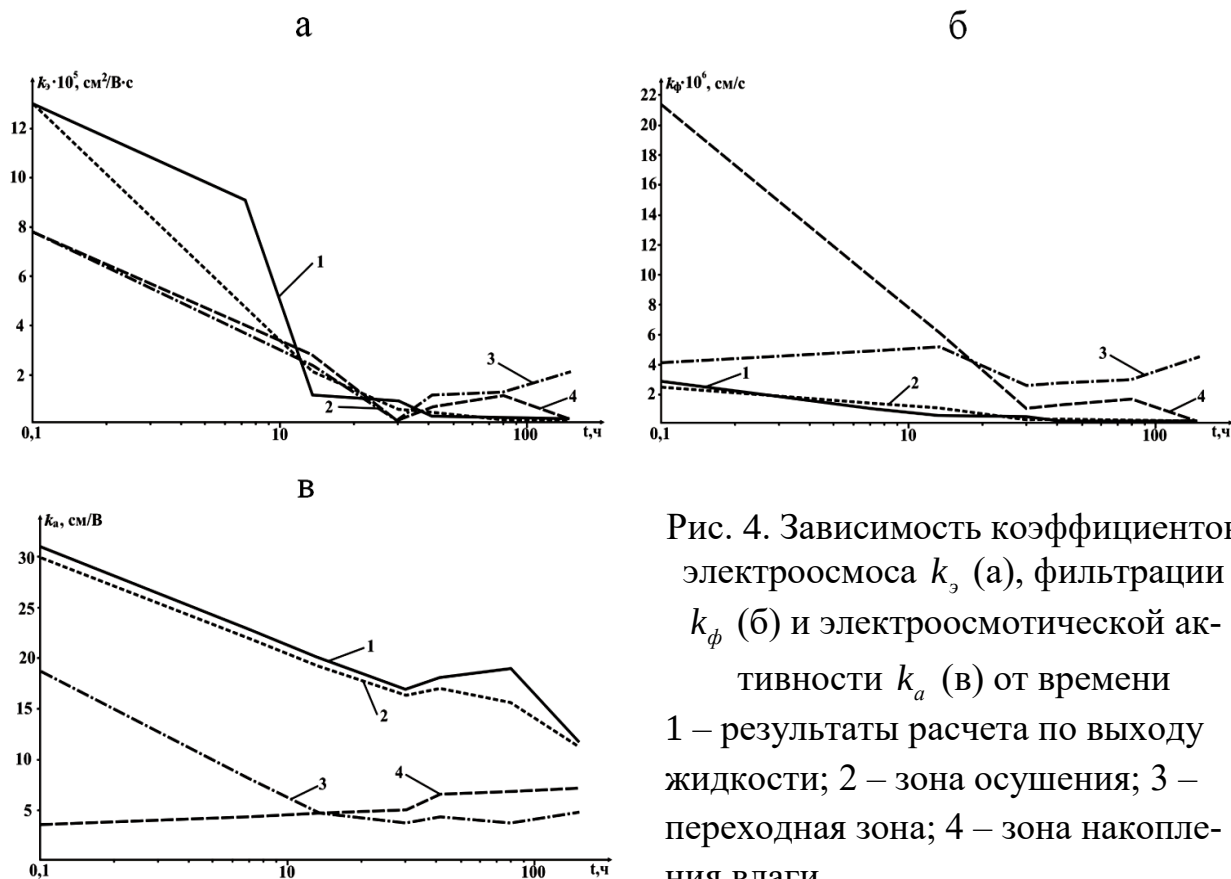


Рис. 4. Зависимость коэффициентов электроосмоса $k_э$ (а), фильтрации $k_ф$ (б) и электроосмотической активности k_a (в) от времени
1 – результаты расчета по выходу жидкости; 2 – зона осушения; 3 – переходная зона; 4 – зона накопления влаги

На рис. 5, а представлена диаграмма изменения УЭС в прикатодной области. Можно отметить, что при электроосмосе зона увеличения УЭС развивается относительно равномерно во всех направлениях.

С учетом рассмотренной методики рассчитаны коэффициенты $k_э$, $k_ф$, k_a в прикатодной зоне (рис. 5, б, в и г соответственно).

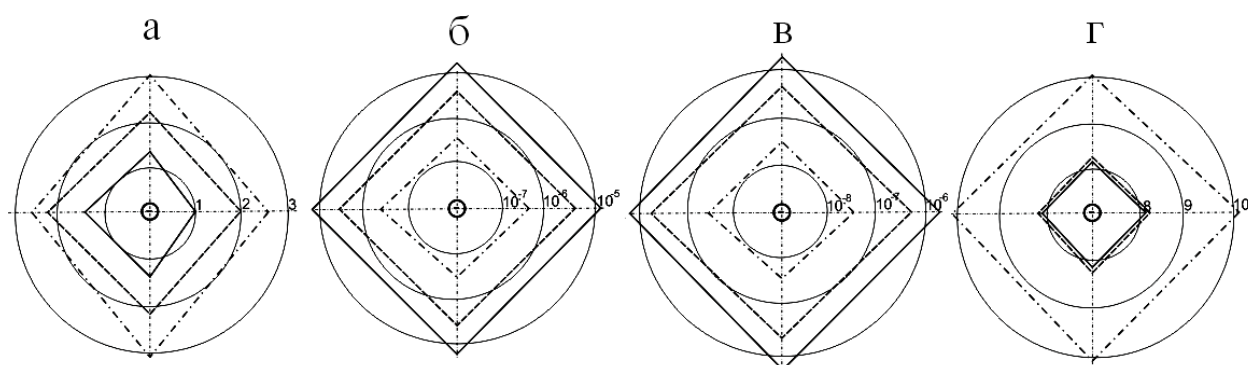


Рис. 5. Диаграммы изменения эффективного УЭС при электроосмосе (а), $k_э$ (б), $k_ф$ (в), k_a (г):

— — $I \cdot t = 8$ Ач; - - - - - $I \cdot t = 22$ Ач; - · - · - $I \cdot t = 54$ Ач

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. С помощью приведенной методики можно моделировать гидродинамические процессы в зоне электроосмотической обработки грунтов по одномерной схеме, в плоскости и в пространстве.

2. Для зон увлажнения и осушения различия в значениях коэффициента электроосмоса $k_э$ незначительны, однако, с учетом результатов анализа динамики развития зон, эти значения носят противоположный характер: при накоплении влаги величина $k_э$ с течением времени растет, а при осушении – снижается, что подтверждает характер зависимостей для глинистых грунтов в диапазоне $k_э$ до $4 \cdot 10^{-4}$ см²/В·с при влажности до 100% [6].

3. С уменьшением среднего значения напряженности электрического поля (от 3,8 до 0,8 В/см) расчетные значения коэффициента электроосмоса $k_э$ также уменьшаются (от $1,3 \cdot 10^{-4}$ см²/В·с до $1,11 \cdot 10^{-6}$ см²/В·с), что подтверждает результаты, полученные экспериментально в виде обратной зависимости в работе [6].

4. Значения коэффициента фильтрации $k_ф$, полученные в результате расчета, в диапазоне 0,005-0,02 м/сут соответствуют диапазону значений от 0,005 до 0,05 м/сут [8], который, по сравнению с обычными способами водопонижения, считается наиболее эффективным в области применения электроосмотической обработки грунтов.

5. В процессе откачки воды в зоне активного электроосмоса создается разряжение, перемещение жидкости к электроду происходит относительно равномерно по всем направлениям, что подтверждается равномерным характером изменения электрических и гидродинамических параметров, полученных экспериментально-аналитическим путем (рис.5).

Список литературы

1. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. 11 с.
2. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – Москва: Минстрой России, 2000. 12 с.
3. Бондаренко, Н.Ф. Физика движения подземных вод. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1973. – 215 с.
4. Ломизе, Г. М. Электроосмотическое водопонижение / Г. М. Ломизе, А. В. Нетушил. – Москва: Госэнергетическое изд-во, 1958. – 176 с.
5. Злочевская, Р. И. Электроповерхностные явления в глинистых породах / Р. И. Злочевская, В. А. Королёв - Москва: Изд-во МГУ, 1988. - 177 с.
6. Королёв, В. А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение. — Москва: ООО "Сам полиграфист", 2015. — 468 с.
7. Простов, С. М. Геоэлектрический контроль зон укрепления глинистых горных пород / С.М. Простов, В.А. Хмяляйнен, М.В. Гуцал, С.П. Бахаева; РАЕН. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 127 с.
8. Курденков, Л. И. Область применения электроосмоса в грунтах / Материалы к VI совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. – Москва: Изд-во МГУ, 1968. – С. 209–218.