

УДК 624.130:504.064.2:550.837.31

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ГРУНТОВ

Кулик Д.П., студент гр. ФПс-141, IV курс
Сафонов А.Е., студент гр. ФПс-141, IV 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

В процессе освоения и эксплуатации земных недр техногенное вмешательство человека крайне неблагоприятным образом нарушает равновесие окружающей среды. Возникающие при этом проблемы безопасного проведения работ обуславливают необходимость проведения разнообразных фундаментальных и прикладных исследований. Количество и острота порождаемых техногенным вмешательством проблем, с точки зрения безопасности технологической и экологической, существенно опережает процесс накопления решений или нейтрализации этих проблем практикой горного дела. Статистика явлений катастрофического характера в горном деле обуславливает необходимость развития подходов к способам накопления знаний о поведении массива в процессе техногенного воздействия и детального выбора подходов для адекватного описания протекающих процессов.

Возможности экспериментального подхода значительно расширяет физическое моделирование процессов горного производства. Помимо решения частных ситуаций оно может дать общую картину и приближенную количественную характеристику явления.

Под моделированием подразумевают замену исследования интересующего явления в естественных условиях изучением аналогичного явления на модели в уменьшенном или увеличенном масштабе в специализированных лабораторных условиях.

Эксперименты, по степени вмешательства исследователя в их ход, подразделяют на пассивные и активные. Под пассивными экспериментами подразумевают натурные исследования (наблюдения в реальных условиях), к активным относят исследования, проводимые с заменой реального процесса моделью и последующим его изучением при широком варьировании тех или иных параметров. К основному недостатку пассивного эксперимента можно отнести недостаточное варьирование входными параметрами. Активные эксперименты, в большинстве случаев, проводят на основе моделирования физического или математического. До появления мощных ЭВМ проведение математического моделирования было затруднено из-за трудоемкости или невоз-

можности проведения вычисления в соответствии с предложенной математической моделью. По этой причине в большей степени приоритет отдавался физическому моделированию. Однако и у физического моделирования имеются отрицательные факторы, препятствующие его распространению в качестве универсальной технологии.

С появлением пакетов программ, предназначенных для решения прикладных задач, появилась возможность изучать интересующие процессы без использования трудо- и ресурсоемких натурных исследований путем создания комплекса абстрактных объектов, описываемых математическими и физическими уравнениями, с возможностью изменения широкого набора параметров.

Применение компьютерных методов позволяет адаптировать методы математического моделирования для изучения сложных геомеханических процессов. Основным преимуществом компьютерного моделирования можно назвать возможность учёта и изменения множества участвующих в математической постановке параметров. При этом необходимо понимание пределов эффективного применения тех или иных решений при моделировании реальных процессов. Применение компьютерных методов оправдано и эффективно при изучении механических процессов, моделирование которых зачастую весьма трудоемко либо практически нереализуемо в соответствии с построенной моделью при использовании других подходов.

На настоящее время не существует универсального пакета программ, реализующего моделирование горных процессов. Отсутствие такого пакета программ обусловлено сложностью систем реально существующих объектов. Компьютерная модель должна быть приспособлена для того, чтобы максимально точно отражать сложную структуру систем горных пород и технологических объектов, описывать их взаимосвязь. Для разработки подобных компьютерных моделей принципиально важно использование результатов натурных исследований, благодаря чему можно сделать выводы о соответствии создаваемых моделей действительности.

Решение задач геомеханики в компьютерной реализации состоит из четырех этапов.

1. Физическая постановка:

- формулировка типа задач из соображений геометрии;
- выбор физической модели с указанием действующих в массиве сил;
- описание структурно-механических особенностей массива;
- приведение количественных оценок механических свойств горных пород.

2. Математическая постановка задачи, включающая запись систем уравнений в соответствии с определенными заранее физическими уравнениями, описывающими поведение среды;

3. Компьютерная реализация системы математических уравнений при использовании программных продуктов, позволяющих решить такую систему с учетом изменений различных параметров;

4. Проверка и анализ результатов, выводы на их основании.

В качестве примера можно привести разработку [1, 2], посвященную определению гидродинамических параметров процесса электроосмотической обработки глинистых грунтов.

В качестве основного физического уравнения, описывающего процесс, принято классическое уравнение электроосмотической фильтрации [3]:

$$\bar{V} = k_3 \overline{\operatorname{grad}}\varphi + k_\phi \overline{\operatorname{grad}}h = k_\phi \operatorname{grad}(k_a \varphi + h), \quad (1)$$

где \bar{V} - скорость частиц (ионов); φ - электрический потенциал; h - напор; k_ϕ , k_3 , k_a - соответственно, коэффициенты фильтрации, электроосмоса и электроосмотической активности.

За исходную базу экспериментальных данных приняты графики относительного УЭС $\rho(x, I \cdot t)$, полученные в результате исследований процесса электроосмотической обработки глинистых грунтов на физической модели [4].

В соответствии с (1) коэффициент фильтрации k_ϕ , скорость и коэффициент электроосмоса k_3 , и электроосмотической активности ($k_a = k_3/k_\phi$) отнесены к характеризующим процесс электроосмотической обработки грунтов параметрам.

Далее разработан алгоритм расчета основных параметров процесса электроосмотической обработки грунта (рис. 1).

Алгоритм включает в себя:

- компьютерную модель, построенную на основе физической [4], с рядом принятых допущений. В [1, 2] использован пакет программ Matlab, реализующий метод конечных элементов. В ходе реализации компьютерной модели определен параметр, отвечающий за описание нестационарности процесса. В результате реализована возможность рассмотреть нестационарный процесс как ряд сменяющих друг друга последовательно стационарных состояний.

- уравнения, выведенные из условий базы, принятой за исходную. Уравнения описывают характеризующие процесс электроосмотической обработки грунтов параметры, представленные в уравнении, принятом за основное физическое.

По результатам реализации алгоритма сделаны выводы о применимости метода к конкретным условиям, в сравнении с результатами полученными другими исследователями.

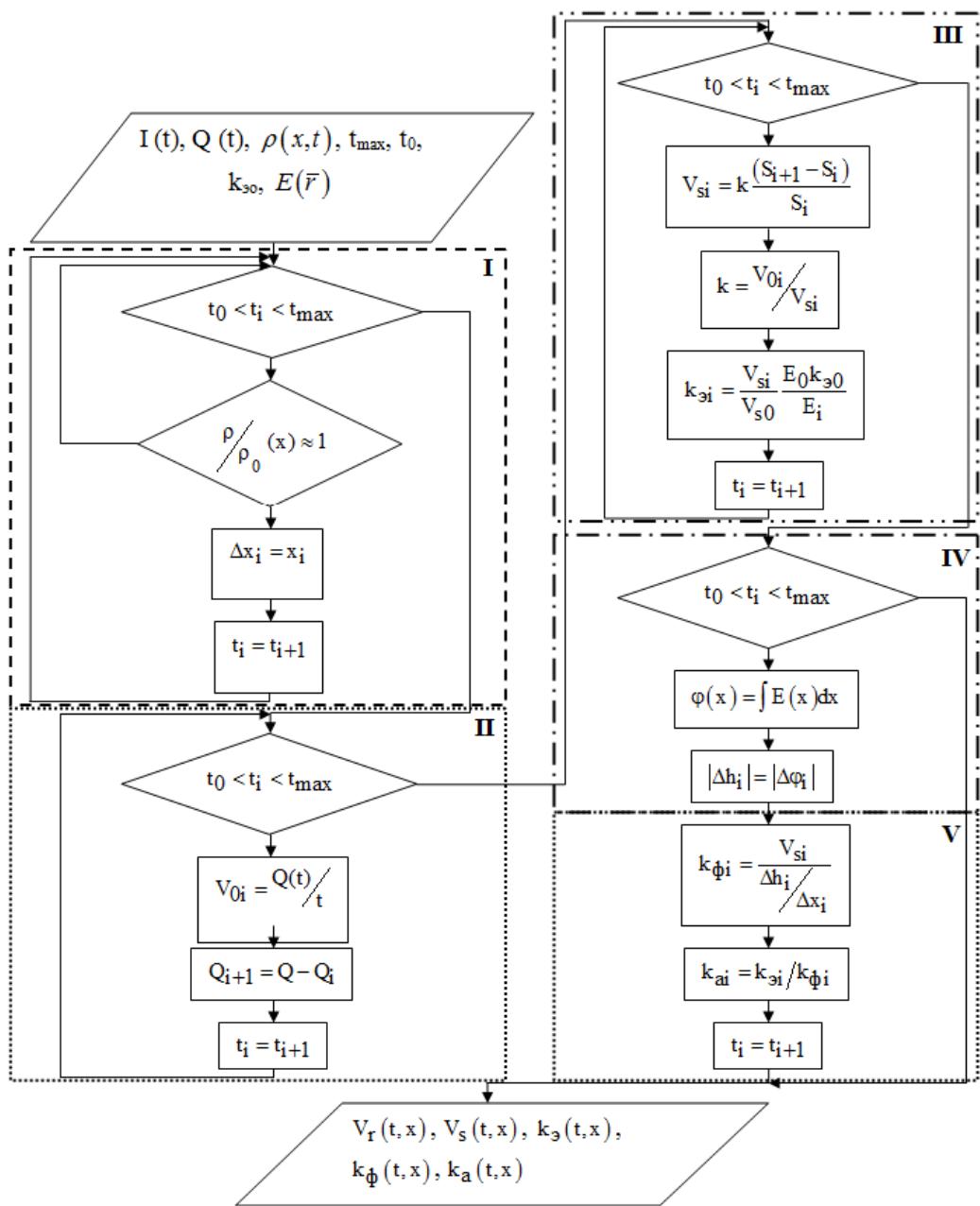


Рис. 1. Алгоритм расчета параметров процесса электроосмотической обработки грунтов (I - V – этапы расчета):

$Q(t)$ - данные по расходу тока и выходу жидкости, соответственно; $\rho(x,t)$ - данные по изменению относительного сопротивления; t_{\max} , t_0 – время последнего и первого замера, соответственно; k_{90} – начальное значение коэффициента электроосмоса; $E(\bar{r})$ – полученные в результате моделирования данные об изменении напряженности электрического поля; V_{si} - скорость изменения процесса, определяемая по графикам $\rho(x,t)$; V_{ri} - скорость протекания процесса электроосмоса, определяемая по графикам $Q(t)$

Применение компьютерного моделирования имеет множество преимуществ:

- Сокращение стоимости эксперимента. Провести моделирование можно при отсутствии узкоспециализированного и дорогостоящего оборудования.
- Сокращение временных затрат. Модель же способна воспроизвести наиболее вероятный сценарий за более короткий срок, чем натурные исследования.
- Повторяемость. Компьютерная модель позволяет проводить огромное количества экспериментов с различными параметрами с целью выявления наиболее подходящего результата.
- Точность. Компьютерное моделирование даёт возможность воспроизвести объект и процессы в непосредственном виде.
- Наглядность, т.е. способность визуализировать исследуемые процессы, схематично изобразить их структуру и вывести результаты в графическом виде.

В качестве недостатков можно отметить:

- Нет гарантии, что полученная модель даст ответы на все вопросы.
- Не существует способов подтверждения того, что модель компьютерная работает точно так же как и реальная модель.
- Создание моделей может занять много времени. Также сложная модель может быть требовательна к ресурсам компьютера.
- Нет определённых стандартов. Если одну и ту же реальную модель воссоздают разные аналитики, то результатом могут оказаться абсолютно разные модели.

Список литературы

1. Гуцал, М. В. Экспериментально-компьютерное моделирование нестационарных физических процессов электроосмотической обработки грунтов (ч. I) / М. В. Гуцал, С. М. Простов // Проблемы технической мелиорации грунтов оснований зданий и сооружений: Труды всероссийской научно-практической конференции – Уфа: ГУП БашНИИстрой, 2016 – С. 140-145.
2. Гуцал, М. В. Экспериментально-компьютерное моделирование нестационарных физических процессов электроосмотической обработки грунтов (ч. II) / М. В. Гуцал, С. М. Простов // Проблемы технической мелиорации грунтов оснований зданий и сооружений: Труды всероссийской научно-практической конференции – Уфа: ГУП БашНИИстрой, 2016 – С. 146-151.
3. Бондаренко, Н.Ф. Физика движения подземных вод. – Ленинград, Гидрометеоиздат, 1973. – 215 с.
4. Простов, С. М. Геоэлектрический контроль зон укрепления глинистых горных пород / С.М. Простов, В.А. Хямяляйнен, М.В. Гуцал, С.П. Бахаева; РАН. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 127 с.