

УДК 624.131.7: 519.688

А. В. Покатилов, С. М. Простов, С. А. Иванов

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ

Метод электрохимического закрепления (ЭХЗ) малопроницаемых влагонасыщенных грунтов весьма перспективен в подземном, наземном, гидротехническом строительстве. Процессы, протекающие в зоне ЭХЗ, весьма сложны, их исследованию посвящен целый ряд работ. До настоящего времени недостаточно изучен геомеханический аспект взаимодействия закрепленной зоны с прилегающим к ней естественным массивом и конструктивными элементами. В [1] сделана попытка аналитического решения задачи в упругой и упруго-пластической постановке. Полученные результаты могут быть использованы с достаточной для практики точностью только для идеальных условий: однородная среда, подземная выработка круглого сечения с оболочкой равной толщины.

Для решения неограниченного круга задач в рассматриваемой области целесообразно использование численных методов, при этом перспективно применение продукта Alterra, входящего в программный комплекс Geosoft. Основные досто-

инства данной программы состоят в следующем:

- возможность решения как двух-, так и трехмерных задач;
- реализация нелинейных (упругая, пластическая и упруго-пластическая с использованием критерия Мизеса) и реологических моделей;
- возможность учета неоднородности среды (геологическая структура, геометрия и свойства зоны закрепления, конструктивных элементов).

В соответствии с классическими положениями метода конечных элементов [2] в плоской модели функция смещения  $f$  точки с координатами  $x, y$  содержит горизонтальную  $u$  и вертикальную  $v$  компоненты, задается вектор-столбцом

$$\{f\} = \begin{cases} u(x, y) \\ v(x, y) \end{cases}. \quad (1)$$

При этом напряженно-деформированное состояние массивов точки описывается вектор-столбцом деформаций

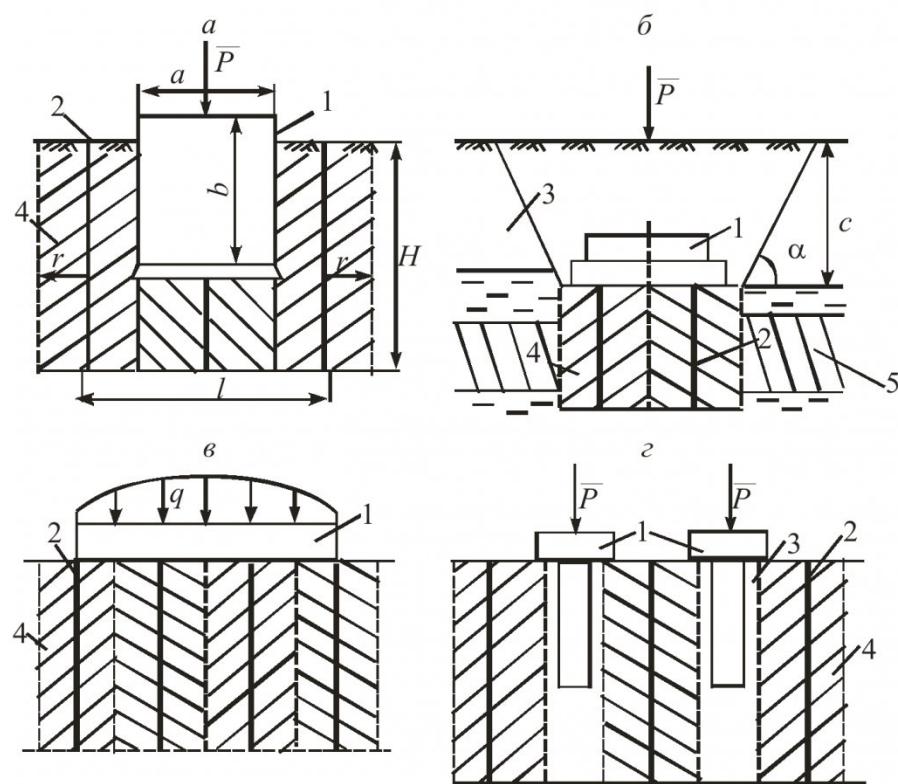


Рис. 1. Основные расчетные схемы для ленточного (а), столбчатого (б), плитного (в) и свайного (г) фундаментов: 1 – железобетонные элементы; 2 – металлические элементы (электроды-инъекторы); 3 – неукрепленный массив; 4 – укрепленный массив; 5 – элементы геологического строения основания

$$\{\sigma\} = \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (2)$$

и вектор-столбцом напряжений

$$\{\sigma\} = \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (3)$$

где  $[D]$  – матрица упругости.

Исходная база данных для геомеханических расчетов включает основные элементы:

– выбор расчетной схемы (для объектов горнотехнического назначения наиболее распространена схема симметричного сечения);

ненными являются ленточные, столбчатые, плитные и свайные фундаменты, рис. 1);

– параметры деформационных (модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ ) и прочностных (сцепление  $C$ , угол внутреннего трения  $\varphi$ ) свойств неукрепленного массива;

– параметры деформационных и прочностных свойств ( $E_y, \nu_y, C_y, \varphi_y$ ) укрепленного массива;

– геометрические параметры конструкции и технологии закрепления ( $a, b, c, \alpha, r, H, l$  на рис. 1);

– характеристики железобетонных и металлических элементов конструкций (плотность  $\rho$ , осевые моменты инерции  $I$  и сопротивления  $W$ , площадь сечения  $F$ );



Рис. 2. Укрупненный алгоритм моделирования

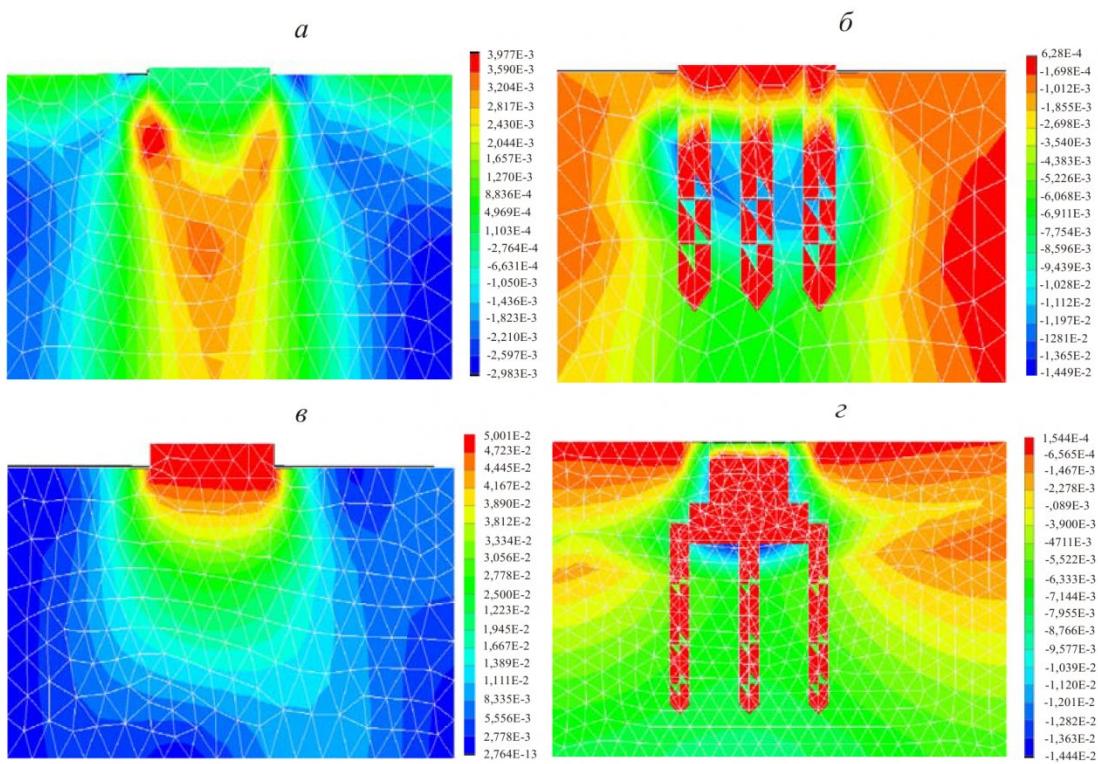


Рис. 3. Результаты расчета смещений для основных видов ленточного (а),

– нагрузка на фундамент, сосредоточенная  $P$  или распределенная  $q$  (несущая способность).

Результаты компьютерного расчета как исходный материал для дальнейшей обработки и анализа целесообразно представлять в графическом виде:

- изолинии перемещений  $u, v$ ;
- изолинии деформаций  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ ;
- изолинии напряжений  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ .

Для формирования базы данных задают приращения изменяемым параметрам моделей, основными из которых являются следующие:

- нагрузка на фундамент  $\Delta P, \Delta q$ ;
- геометрические параметры зоны укрепления  $\Delta r, \Delta l, \Delta H$ ;
- деформационные и прочностные параметры неукрепленного массива  $\Delta E, \Delta C$ ;

– деформационные и прочностные параметры укрепленного массива  $\Delta E_y, \Delta C_y$ .

Укрупненный алгоритм моделирования представлен на рис. 2. Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 3.

Основные направления практического использования базы данных, полученных в результате моделирования, состоят в следующем:

- установление закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массива в основании сооружения в наиболее характерных сечениях;
- установление зависимостей основных технологических и конструктивных параметров фундаментов от изменяемых параметров моделей;
- рекомендации по конкретным технологическим и конструктивным параметрам фундаментов при проектировании строительных и ремонтных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Простов, С. М., Электрохимическое закрепление грунтов / С. М. Простов, А. В. Покатилов, Д. И. Рудковский; РАЕН. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011. – 294 с.

2. Зинкевич, О., Конечные элементы и аппроксимация / О. Зинкевич, К. Морган. – М. : Мир, 1986. – 318 с.

□ Авторы статьи:

Покатилов

Андрей Владимирович,  
канд. техн. наук, зав. каф.  
строительных конструкций, водопод-  
снабжения и водоотведения КузГТУ.  
E-mail Pokatilov @jandex.ru

Простов

Сергей Михайлович,  
докт. техн. наук, профессор,  
каф. теоретической и геотехни-  
ческой механики КузГТУ  
E-mail psm.kem@mail.ru

Иванов

Сергей Александрович,  
студент КузГТУ (гр. СД 081),  
тел. 39-63-30