

НЕЛИНЕЙНАЯ ЗАДАЧА ФИЛЬТРАЦИОННО-АНИЗОТРОПНЫХ ГРУНТОВ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Т. В. Рабочая

Запропонований алгоритм розв'язку ривнянь нелінійної теорії фільтраційної консолідації осесиметричної задачі для основ складених із фільтраційно-анізотропних ґрунтів. Задача розв'язана методом скінченних різниць.

Предложен алгоритм решения уравнения нелинейной теории фильтрационной консолидации осесимметричной задачи для оснований сложенных из фильтрационно-анизотропных грунтов. Задача решена методом конечных разностей.

An algorithm for the solution of the nonlinear theory of filtration consolidation of an axisymmetric problem for bases composed of filtering anisotropic soils.

Осесимметричная задача имеет большое практическое значение при проектировании вертикального дренажа для ускорения консолидации и упрочнения, слабых водонасыщенных фильтрационно-анизотропных грунтов.

В [2] предложен учет нелинейной постановки задачи консолидации посредством трактовки коэффициента консолидации как переменной величины в отличие от линейной теории консолидации. Дальнейшее развитие решения получено в [1, 7, 8], где в качестве основной предпосылки принята зависимость коэффициента консолидации $C(z,t)$ от функции избыточного давления в поровой воде в различные моменты времени в виде $H^n(z,t)$, где $n \geq 0$ - параметр, отражающий интенсивность влияния порового давления на процесс консолидации. Параметр определяется путем приближения к результатам стандартных консолидационных испытаний образцов грунта.

В качестве основной предпосылки принимаем:

$$v \frac{\partial H(t,z,r)}{\partial t} dt = \frac{\partial C(t,z,r)}{\partial z} dz. \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение уплотнения для условий осесимметричной задачи запишется следующим образом:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[C_z(H) \frac{\partial H}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[C_r(H) \frac{\partial H}{\partial r} \right] + C_r(H) \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r}, \quad (2)$$

где функции коэффициентов консолидации с учетом фильтрационной анизотропии в направлениях z и r

На основе полученного в [8] решения был разработан алгоритм, который позволяет прогнозировать уплотнение во времени грунтов при фильтрационной анизотропии под действием равномерно-распределенной нагрузки в осесимметричных условиях деформирования. В результате расчета определяются значения напоров в узлах конечно-разностной сетки (в моменты времени при степенях консолидации сжимаемого грунта 0.1, 0.2 ... 0.9) и строится зависимость время-нагрузка-осадка.

В качестве исходных данных используется следующее: начальное избыточное поровое давление; мощность основания; шаг по координате; шаг по времени; коэффициенты α_1 и α_2 ; конечная степень консолидации; степень n - параметр, отражающий интенсивность влияния порового давления на процесс консолидации, определяемый путем приближения к результатам стандартных консолидационных испытаний; характеристика нижнего слоя (водоупор или дренаж).

Выполняется вычисление значений напоров в узлах конечно-разностной схемы. Затем выполняется проверка и поиск корней степенного уравнения. Производим интегрирование

массива давления и расчет по формулам. По формулам [8] определяется степень консолидации для текущего момента времени. Сравниваем величину текущей степени консолидации с заданной степенью. Вычисления проводим до тех пор, пока степень консолидации не достигнет числа 0.9 - полной стабилизации осадки.

В постановке линейной теории коэффициент консолидации C принимается постоянным. В предлагаемом решении этот коэффициент в начальной фазе уплотнения меньше коэффициента консолидации предлагаемого по линейной $C_n(z,t) < C$; $C_n(r,t) < C$ и в конечной фазе превышает его $C_k(z,t) > C$; $C_k(r,t) > C$.

Алгоритм позволяет вычислять степень нелинейной консолидации и функцию избыточного порового давления в процессе деформирования. При $\alpha_1 = \Delta t \eta / \Delta z^2$ и $\alpha_2 = 0$, где $\eta = C(q) = \text{const}$ и при $n=0$ – получаем результаты линейной теории. Параметр n принимает следующие значения, $n=0$, $n=0.1$, $n=1$, $n=1.2$, $n=1.9$.

Осадка определяется для одной из двух расчетных схем:

- свободных деформаций (для каждой точки поверхности деформируемого слабого водонасыщенного основания);
- равных деформаций (используем среднюю степень консолидации).

После численного определения функции избыточного порового давления осадка определяется по общеизвестной формуле:

$$S_t = S_\infty \left(1 - \frac{\Omega_1}{\Omega} \right), \quad (3)$$

где S_∞ – осадка, соответствующая окончанию фильтрационной консолидации,
 Ω_1 – вычисляется по следующей формуле:

$$\Omega_1 = \int_0^h H(t, z, r) dz = \frac{\Delta z}{z} \sum_{k=1}^h (H_{t,i,k-1} + H_{t,i,k}), \quad (4)$$

где Ω – соответствует интегралу (3) для начального момента $t=0$.

Для каждого заданного момента времени можно определить степень консолидации $\mu_i(t)$ и осадку $S_i(t)$ грунтового массива:

$$\mu_i(t) = 1 - \frac{\Omega_i(t)}{\Omega}, \quad (5)$$

$$S_i(t) = S(t = \infty) \mu_i(t). \quad (6)$$

Для заданного момента времени выражения (5) и (6) принимают следующий вид:

$$\mu(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mu_i(t), \quad (7)$$

$$S(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i(t). \quad (8)$$

С учетом фильтрационной анизотропии степени консолидации в вертикальном и горизонтальном направлениях будут различными:

$$\mu_z(t) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left[- \frac{\pi^2 C_z(t)}{4z^2} \right]; \quad (9)$$

$$\mu_r(t) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 C_r(t)}{4r^2}\right]. \quad (10)$$

Воспользуемся теоремой суперпозиции Карилло, согласно которой степень консолидации основания при вертикальных и горизонтальных дренажных поверхностях определяется интегрально:

$$\mu_{z,r}(t) = 1 - [1 - \mu_z(t)][1 - \mu_r(t)]. \quad (11)$$

При следующем соотношении:

$$\mu_{z,r}(t) = 1 - [1 - \mu_z(t)]^2. \quad (12)$$

Интегральная степень консолидации грунтового массива при фильтрационной анизотропии в заданный момент времени имеет следующий вид:

$$\mu_{z,r}(t) = 1 - [1 - \mu_z(t)][1 - \alpha \cdot \mu_r(t)], \quad (13)$$

где $\alpha = (h_2/h_1)^2$ – безразмерный коэффициент, отражающий геометрию дрены.

Осадка в заданный момент процесса консолидации в массиве фильтрационно-анизотропного грунта будет иметь следующий вид:

$$S(t) = \mu_{z,r}(t) \cdot S(t = \infty). \quad (14)$$

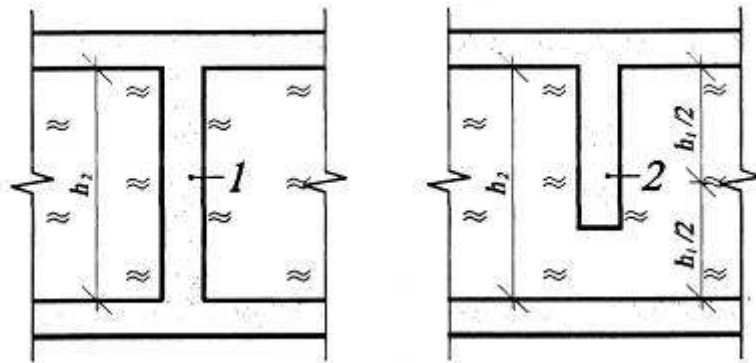


Рис. 1. Расчетная схема при устройстве дрен для уплотнения слабого водонасыщенного фильтрационно-анизотропного грунта: 1 – совершенная дрена; 2 – несовершенная дрена; h_1 – мощность слабого водонасыщенного фильтрационно-анизотропного грунта; h_2 – длина дрены

При $\alpha_1 = \Delta t \eta / \Delta z^2$ и $\alpha_2 = 0$, где $\eta = C(q) = \text{const}$ и при $n = 0$ уравнение (2) вырождается в уравнение линейной теории консолидации – уравнение Флорина В. А.

При $n = 1$ уравнение (2) вырождается в уравнение нелинейной теории, предложенной в [2] Школа А. В. Положенная в основу решения предпосылка позволяет решать различные задачи, включая как частные, решения изложенные в [5] и [6].

Выводы

- Представлен алгоритм решения задачи консолидации слабых грунтов с учетом фильтрационной анизотропии для осесимметричных условий деформирования в конечно-разностных схемах.
- Положенная в основу решения предпосылка позволяет решать различные задачи, включая как

частные, решения полученные в [7, 8].

- Практическое значение данного решения состоит в сокращении срока ввода в эксплуатацию территорий и зданий. При этом несущая способность сооружений повышается до их ввода в эксплуатацию.

Список литературы

1. Рабочая Т. В. Численное решение уравнения нелинейной теории фильтрационной консолидации в одномерных условиях деформирования // Т. В. Рабочая, Я. В. Кириллов. – Вестник ОГАСА. – Вып. 4. – 2001. – С. 368-371.
2. Школа А. В. Деформирование территорий портов и оснований портовых гидротехнических сооружений в сложных инженерно-геологических условиях / А. В. Школа. – М.: «Мортехинформреклама», 1983. – С. 24.
3. Отчет о НИР Развитие теории уплотнения береговых гидроотвалов из бросовых грунтов дноуглубления с целью их утилизации в искусственные территории. – ОГАСА, Одесса, 1994-1996.
4. Рабочая Т. В. Численные исследования процесса консолидации намывных оснований в гидротехническом строительстве. Международная конференция. Автоматизация проектирования в строительстве и гидротехнике, Одесса, 14-15 мая 2003 г.
5. Школа А. В. Инженерная диагностика портовых / А. В. Школа. – ГТС. Дис. д.т.н. ЛИВТ. Л. – 1990. – 364 с.
6. Флорин В. А. Основы механики грунтов / В. А. Флорин. – М. Л.: Госстройиздат, 1959, 1961. – т.1, т.2. – 357 с., 543 с.
7. Школа А. В. Численное решение уравнения нелинейной консолидации фильтрационно-анизотропного грунта при его плоском деформировании // А. В. Школа, Т. В. Рабочая. – Світ геотехніки. – 2008. – № 1. – С.22-23.
8. Рабочая Т. В. Уравнение нелинейной теории фильтрационной консолидации осесимметричной задачи // Т. В. Рабочая. – Вісник ОДАБА. – 2004. – Вип. №14. – С. 193-195.

Рабочая Татьяна Валентиновна – к.т.н., доцент кафедры оснований и фундаментов Одесской государственной академии строительства и архитектуры.