

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАДАЧА НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ
КОНСОЛИДАЦИИ С УЧЕТОМ
ФИЛЬТРАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ***

Рабочая Т.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

У статті розглядається чисельне рішення рівняння нелінійної теорії фільтраційної консолідації просторової задачі для основ складених з фільтраційно-анізотропних ґрунтів. Наведено залежності, які дозволяють вирішити задачу методом кінцевих - різниць.

Пространственная задача консолидации сравнительно редко встречается при строительстве. Однако существенным преимуществом данного решения является возможность учета сложных граничных условий.

Рассматривается слой водонасыщенного грунта мощностью h , который характеризуется фильтрационной анизотропией. Нагрузка прикладывается мгновенно. Начальные C_n и конечные C_k коэффициенты по направлениям фильтрации в процессе консолидации являются функциями избыточного порового давления и изменяются по координате и во времени. Постановка нелинейной теории консолидации без учета анизотропии изложена [7]. В [3] предложен учет нелинейной постановки задачи консолидации посредством трактовки коэффициента консолидации как переменной величины в отличие от линейной теории консолидации. Это предложение также рассмотрено в [6]. Дальнейшее развитие решения получено в [2] и [9, 10], 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 статье рассматривается уравнение нелинейной теории фильтрационной консолидации для пространственных условий деформирования водонасыщенного грунта мощностью h .

В качестве основной предпосылки принимаем:

$$v \frac{\partial H(t, z, x, y)}{\partial z} dz = \frac{\partial C(t, z, x, y)}{\partial z} dz \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение уплотнения для условий пространственно задачи запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H(t, z, x, y)}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial z} \left[C_z(H(t, z, x, y)) \frac{\partial H(t, z, x, y)}{\partial z} \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[C_x(H(t, z, x, y)) \frac{\partial H(t, z, x, y)}{\partial x} \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[C_y(H(t, z, x, y)) \frac{\partial H(t, z, x, y)}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

* Работа проведена под руководством проф. Школа А.В

где функции коэффициентов консолидации с учетом фильтрационной анизотропии в направлениях z, x и y имеют следующий вид:

$$C_z(H(t,z,x,y)) = [C_{z,n} - C_{z,k}] \frac{H^n(t,z,x,y)}{H^n(0,z,x,y)} + C_{z,k} \quad (3)$$

$$C_x(H(t,z,x,y)) = [C_{x,n} - C_{x,k}] \frac{H^n(t,z,x,y)}{H^n(0,z,x,y)} + C_{x,k} \quad (4)$$

$$C_y(H(t,z,x,y)) = [C_{y,n} - C_{y,k}] \frac{H^n(t,z,x,y)}{H^n(0,z,x,y)} + C_{y,k} \quad (5)$$

где $H^n(z,x,y,0)$, $H^n(z,x,y,t)$ – функция избыточного давления в поровой воде в различные моменты времени; $n \geq 0$ – параметр, отражающий интенсивность влияния порового давления на процесс консолидации, определяемый путем приближения к результатам стандартных консолидационных испытаний; $C_{x,n}$, $C_{x,k}$, $C_{z,n}$, $C_{z,k}$, $C_{y,n}$, $C_{y,k}$ – соответственно начальные и конечные коэффициенты консолидации по осям x, y и z.

Функция $C(H)$ не является быстро меняющейся, поэтому для нахождения избыточного порового давления в узлах используем явные конечно-разностные решения.

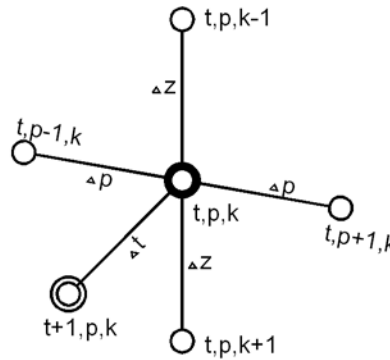


Рис. 1. Порядок нумерации узлов в конечно-разностной схеме для пространственных условий деформирования

Дифференциальное уравнение (2) запишем в конечно-разностной форме с учетом постоянного промежутка времени Δt и шага сетки Δz :

$$H_{t+1,i,j,k} + H_{t-1,i,j,k} (\alpha_2 A^2 + \beta_2 B^2 + \gamma_2 D) - H_{t,i,j,k} - \alpha_1 A - \beta_1 B - \gamma_1 D + \frac{1}{4} \alpha_2 A^2 + \frac{1}{4} \beta_2 B^2 + \frac{1}{4} \gamma_2 D^2 \quad (6)$$

где η и ν – постоянные, которые имеют размерность коэффициента консолидации;

$$\begin{aligned} A &= 2H_{i,j,k} - H_{i,j,k+1} - H_{i,j,k-1}; \quad \alpha_1 = \Delta t \eta / \Delta z^2, \\ B &= H_{i,j,k} - H_{i+1,j,k} - H_{i-1,j,k}; \quad \beta_1 = \Delta t \eta / \Delta x^2, \\ D &= H_{i,j,k} - H_{i,j+1,k} - H_{i,j-1,k}; \quad \gamma_1 = \Delta t \eta / \Delta y^2, \\ A_1 &= H_{i,j,k+1} - H_{i,j,k-1}; \quad \alpha_2 = \Delta t \nu / \Delta z^2, \\ B_1 &= H_{i+1,j,k} - H_{i-1,j,k}; \quad \beta_2 = \Delta t \nu / \Delta x^2, \\ D_1 &= H_{i,j+1,k} - H_{i,j-1,k}; \quad \gamma_2 = \Delta t \nu / \Delta y^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Условия устойчивости конечно-разностной схемы:

$$\begin{aligned} \Delta t C_z(H) / \Delta z^2 \leq \frac{1}{6}; \quad \Delta t C_x(H) / \Delta x^2 \leq \frac{1}{6}; \\ \Delta t C_y(H) / \Delta y^2 \leq \frac{1}{6}. \end{aligned} \quad (8)$$

При $n=1$ значение функции избыточного порового давления в узле вырождается в [3].
 Преобразуем (6) в степенное уравнение:

$$(\alpha_2 A + \beta_2 B + \gamma_2 D) H_{i,j,k}^n + H_{i,j,k} + \alpha_1 A - H_{i,j,k} + \beta_1 B + \gamma_1 D - \frac{1}{4} \alpha_2 A^2 - \frac{1}{4} \beta_2 B^2 - \frac{1}{4} \gamma_2 D^2 = 0 \quad (9)$$

При $n=2$ корни уравнения (9):

$$H_{i,j,k} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4 \cdot F \cdot N}}{2(\alpha_2 A + \beta_2 B + \gamma_2 D)} \quad (10)$$

где

$$F = -\alpha_2 A - \beta_2 B - \gamma_2 D$$

$$N = -H_{i,j,k} + \alpha_1 A + \beta_1 B + \gamma_1 D - \frac{1}{4} \alpha_2 A^2 - \frac{1}{4} \beta_2 B^2 - \frac{1}{4} \gamma_2 D^2 \quad (11)$$

остальные обозначения см. выше.

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 Флорина В.А. При $n=1$ уравнение (2) вырождается в уравнение нелинейной теории, предложенной в [7] Школа А.В.

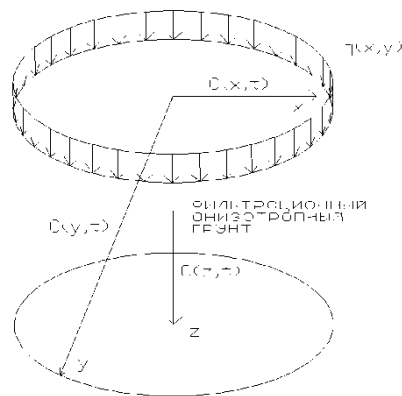


Рис. 2. Коэффициенты консолидации фильтрационно-анизотропного слоя грунта мощностью h по координатам

Выводы

1. Рассмотрена пространственная задача консолидации грунта при учете коэффициента консолидации как степенной функции избыточного порового давления.
2. С учетом фильтрационной анизотропии для условий пространственного деформирования массива слабого водонасыщенного грунта получено численное решение путем построения явной конечно-разностной схемы. Приведен частный результат при $n=2$.
3. Положенная в основу решения предпосылка позволяет решать различные задачи, включая как частные, решения полученные в [7,8].

SUMMARY

The article deals with the numerical solution of the nonlinear theory of filtration consolidation of spatial problem for bases built of filtering-anisotropic soils. The relationships that allow to solve the problem by the finite - difference are presented.

Литература

1. Рабочая Т. В. Автоматизация расчетов консолидации слабых оснований из утилизированных грунтов дноуглубления в одномерных условиях деформирования и анализ полученных результатов. // Труды 3 Украинской конференции по механике грунтов и фундаментостроению. Том 2.- Одесса, 1997. –С. 135-138.
2. Рабочая Т. В., Кириллов Я. В. Численное решение уравнения нелинейной теории фильтрационной консолидации в одномерных условиях деформирования. // Вестник Одесской Государственной Академии Строительства и Архитектуры. Вып. 4. – Одесса, 2001. – С. 368-371.
3. Школа А. В. Деформирование территорий портов и оснований портовых гидротехнических сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. – М., «Мортехинформреклама», 1983 – С. 24.
4. Отчет о НИР Развитие теории уплотнения береговых гидроотвалов из бросовых грунтов дноуглубления с целью их утилизации в искусственные территории. – ОГАСА, Одесса, 1994-1996.
5. 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.
6. Мельцов Г. И. Прогнозирование деформаций искусственных территорий морских портов, образованных продуктами утилизации глинистых морских отложений. Автореферат дис. к. т. н. Одесса, 1996. – 18с.
7. Школа А.В. Инженерная диагностика портовых ГТС. Дис. д.т.н. ЛИВТ. Л. — 1990. — 364 с.
8. Флорин В.А. Основы механики грунтов—М. Л.: Госстройиздат, 1959, 1961 — т.1, т.2. — 357 с., 543 с.
9. Рабочая Т.В. Уравнение нелинейной теории фильтрационной консолидации осесимметричной задачи. // Вісник ОДАБА. — Одесса, 2004. — Вип. №14. — С. 193-195.
10. Школа А.В., Рабочая Т.В., Страхов Ю.Г., Беккер М.Л. Опыт формирования несовершенных дренажей в фильтрационно-анизотропном слабом основании // Вісник ОДАБА. — Одесса, 2010. — Вип. №38. — С. 675-682.