

С. Ш. НУРИДЖАНИ, Э. А. ХАЧАТРЯН

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА НАПОРА  
 НА ПРОЦЕСС КОНСОЛИДАЦИИ

Как известно [1], фильтрационные явления в глинистых грунтах возникают лишь при градиентах, превышающих величину начального градиента напора. Явление начального градиента напора объясняется влиянием на процесс фильтрации вязкости связанной воды, которая увеличивается с уменьшением толщины ее пленок, т. е. фильтрация начинается, когда будет преодолено вязкое сопротивление сдвигу слоев связанной воды. В этом случае зависимость Дарси записывается в виде [1]:

$$\begin{aligned} \text{при } \frac{\sigma H}{\sigma z} > i_0, \quad V = 0; \\ \text{при } \frac{\sigma H}{\sigma z} > i_0, \quad V = -K \left( \frac{\sigma H}{\sigma z} - i_0 \right). \end{aligned} \quad (1)$$

где  $H$ —напор, созданный внешней нагрузкой;  $Z$ —длина пути фильтрации;  $i_0$ —начальный градиент напора;  $K$ —коэффициент фильтрации.

Наличие начального градиента напора оказывает большое влияние на процесс консолидации глинистого грунта. Неучет этого явления может привести к значительному увеличению расчетной осадки и времени консолидации. Отсутствие необходимых теоретических решений объясняется осложнением, связанным с наличием смешивающейся во времени поверхности раздела, которая отделяет область, в которой происходит фильтрация от области, где нет фильтрации. Решение этой задачи в такой постановке методом конечных разностей дано в [1].

Без учета начального градиента напора конечная эпюра эффективных напряжений имеет вид прямоугольника высотой  $h$  и ординатой  $q$  (рис. 1), с учетом же начального градиента она имеет вид треугольника и достигает глубины  $h_{ак}$ , которая называется «активной зоной». Поскольку конечная осадка пропорциональна площади эпюры эффективных напряжений, то, как видно из рис. 1, влияние начального градиента на конечную осадку может быть значительным и оно тем больше, чем больше толщина уплотняемого слоя и величина начального градиента напора.

Рассмотрим задачу одномерной консолидации слоя полностью насыщенного глинистого грунта толщиной  $h$  при действии мгновенно приложенной внешней нагрузки интенсивностью  $q$  с отжатием поровой воды вверх, как показано на рис. 1.

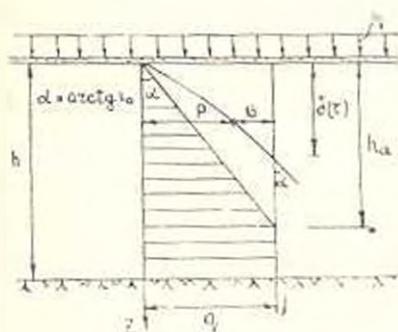


Рис. 1.

Процесс консолидации описывается дифференциальным уравнением [1].

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\partial P}{\partial t^2} \quad (2)$$

при условиях:

$$t = 0, \quad P = P_0 = q; \quad (3)$$

$$z = 0, \quad P = 0; \quad (4)$$

$$z = \delta(t), \quad \begin{cases} P = q, \\ \frac{\partial P}{\partial z} = \gamma I_0 \end{cases} \quad (5)$$

где  $P$  — поровое давление;  $\tau = C_v t$ ;  $C_v$  — коэффициент консолидации;  $t$  — время;  $q$  — интенсивность внешней нагрузки;  $\gamma$  — объемная масса воды;  $I_0$  — начальный градиент пара.

Для решения поставленной задачи применим интегральный метод [2], суть которого заключается в следующем: пусть решение удовлетворяет не первоначальному уравнению (2), а осредненному по  $z$  от  $z = 0$  до  $z = \delta(t)$ :

$$\int_0^{\delta(t)} \frac{\partial P}{\partial z} dz = \int_0^{\delta(t)} \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} dz, \quad (6)$$

Винтегрировав (6), получим:

$$\frac{d}{dt} [\theta - P_0 \delta(t)] = \frac{\partial P(\delta, t)}{\partial t} - \frac{\partial P(0, t)}{\partial z}, \quad (7)$$

где

$$\theta = \int_0^{\delta(t)} P(z, t) dz.$$

Решение дифференциального уравнения (7) ищем в виде многочлена второй степени от  $z$ :

$$P = a_0 + a_1 z + a_2 z^2,$$

где коэффициенты  $a_i$  ( $i = 0, 1, 2$ ) в общем виде зависят от  $\tau$ . Используя граничные условия (4) и (5), определим значения коэффициентов  $a_i$  ( $i = 0, 1, 2$ ):

$$P(z, \tau) = \frac{2q - \gamma l_0 \delta}{\delta} z + \frac{\gamma l_0 \delta - q}{\delta^2} z^2. \quad (8)$$

В уравнение (8) входит одна неизвестная функция  $\delta(\tau)$ , которая определяется из (7). Получив значение  $\delta$  и подставив его в (7), получим следующее дифференциальное уравнение для определения  $\delta(\tau)$ :

$$\delta'' (q + \gamma l_0 \delta) \delta = 6(q - \gamma l_0 \delta). \quad (9)$$

Решение уравнения (9) при условии  $\tau = 0$ ,  $\delta = 0$  имеет вид:

$$\tau = -\frac{a^2}{3} \ln \left| 1 - \frac{\delta}{a} \right| - \frac{a}{3} \delta - \frac{\delta^2}{12}, \quad (10)$$

где

$$a = q / \gamma l_0.$$

Таким образом, имеем возможность для любого  $\delta$  определить значение  $\tau$  и в этот же момент времени из (8) получить эпюру порового давления.

Перейдем теперь к определению степени консолидации в любой момент времени [1]:

$$U(\tau) = \frac{a_0 \int_0^z (q - p) dz}{a_0 q h_a}, \quad (11)$$

где  $a_0$  — коэффициент относительной сжимаемости.

Принтегрировав (11), окончательно получим:

$$U(\tau) = \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{\delta}{a} \right)^2 + \frac{2\delta}{a} \right]. \quad (12)$$

Полученное решение задачи справедливо при толщине слоя грунта равной мощности «активной зоны фильтрации», т. е. при  $h \geq h_a$ . В случае, когда  $h < h_a$ , для прогнозирования порового давления до момента времени  $\tau_1$ , соответствующего достижению поверхностью раздела глубины  $h_a$ , можно использовать полученное выше решение. Далее, для прогнозирования порового давления при  $\tau > \tau_1$  необходимо решить уравнение (2) при краевых условиях:

$$\tau = \tau_1, \quad P = f(z); \quad \begin{cases} z = 0, & P = 0, \\ z = h_a & \frac{\partial P}{\partial z} = \gamma l. \end{cases}$$

Решение этой задачи не вызывает затруднений [1].

Полученные решения (8), (10), и (12) не могут претендовать на строгость, но могут быть использованы в качестве первого приближе-

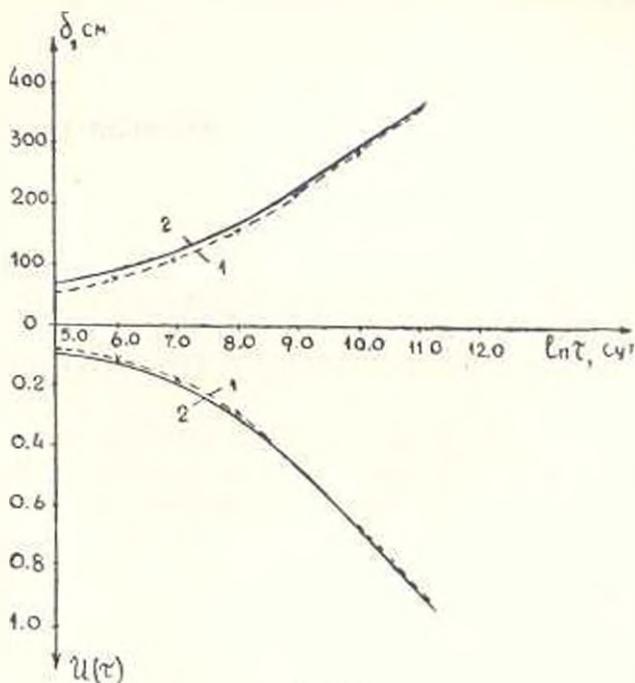


Рис. 2.

ния. На рис. 2 для сравнения с точным решением приведены кривые  $\delta(z)$  и  $u(z)$ , полученные по выражениям (10), (12) и методом конечных разностей.

ԵրԳՈՒ իմ Կ. Մարգար

17 III.1982.

Ս. Է. ԿՈՒՐԻՉԵՆՅԱՆ, Է. Զ. ԿԱԶԱՏՅԱՆ

ՃՆՇՐԱՆ ԻԿԶՐԱՆՈՒԿԱՆ ՎՐԱԳԻՆՆՏԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶԱՐԿԱՆԻՐՈՒՄԸ  
ՓՐՈՑՆՈՒՎ ԿՐԱ

Ու մ փ ո փ ու մ

Աշխատանքում բերված է ձմանցման համախմբման միաշափ խնդրի մոտավոր լուծումը՝ հաշվի առնելով ճնշման սկզբնական դրադիկենտը: Խնդրի դրվածքում հաշվի է առնված ժամանակի ընթացքում փոփոխվող սահմանային պայման, որը բաժանում է ձմանցման միջավայրը այն միջավայրից, որտեղ ձմանցումը բացակայում է:

Մտկոտկենային ճնշման, համախմբման աստիճանի և բաժանման սահմանի ժամանակի ընթացքում տեղափոխություն նախազուշակման ստացված են պարզ արտահայտություններ: Կատարված է համեմատում թվական եղանակով լուծման հետ:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Флорин В. А. Основы механики грунтов.— М. Гострайнбиздат, 1961, т. 11.— 513 с.
2. Беллез Н. П., Рябоно А. А. Методы нестационарного теплопроводности.— М.: Высшая школа, 1978.— 328 с.