

# УЧЁТ ВРЕМЕНИ СОЗДАНИЯ ОГРУЗКИ ПРИ ПРЕДПОСТРОЕЧНОМ УПЛОТНЕНИИ СЛАБЫХ ГЛИНИСТЫХ ОСНОВАНИЙ ПОРТОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ С НЕСОВЕРШЕННЫМИ ДРЕНАМИ.

А.В. Школа, И.И. Мосичева.

В работах [1] и [2] изложены инженерные методы расчёта консолидации однородного слоя слабого глинистого грунта в условиях одномерной задачи уплотнения при односторонней и двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды, соответственно.

Решения указанных задач получены на основе предпосылок фильтрационной теории консолидации. Сущность предложенных методов состоит в представлении уплотняемого основания мощностью  $H$  условно состоящим из двух слоёв грунта: верхнего мощностью  $H_1$ , в пределах которого устроены песчаные дрены, и нижнего  $H_2$  - от подошвы дрен до подстилающего слоя (водоупорного или дренирующего). При этом расчёт консолидации верхнего слоя производится согласно известным решениям осесимметричной задачи [1].

Для расчёта уплотнения нижнего слоя предложено решение, основанное на замене действительной области уплотнения, представляющей собой грунтовой цилиндр, эквивалентной по объёму грунтовой полусферой.

Определение нестабилизированных осадок всего основания производится путём суммирования осадок обоих слоёв за одни и те же расчётные промежутки времени. Указанные решения получены для случая мгновенного приложения уплотняющей нагрузки.

В практике предпостроечного уплотнения слабых оснований нагрузка обычно создаётся ступенями в течение некоторого времени, соизмеримого со временем достижения требуемой осадки. Это обуславливает необходимость учёта процесса наращивания нагрузки  $p_0$ .

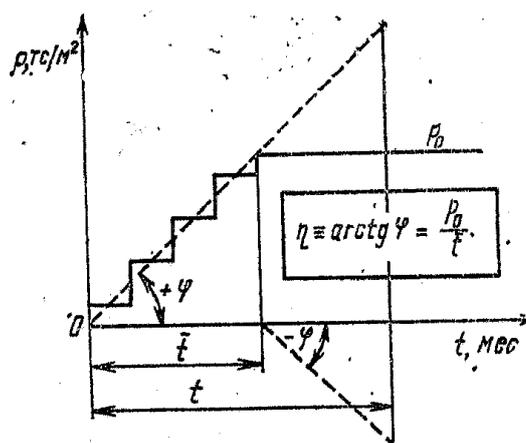


Рис. 1. График наращивания уплотняющей нагрузки.

Рассмотрим задачу уплотнения слабого основания с висячими песчаными дренами в случае линейного возрастания нагрузки во времени в соответствии с рис. 1. Предпосылки и расчётные схемы, принятые в работах [1] и [2], сохраняются. Решение для верхнего слоя, т.е. осесимметричной задачи, в рассматриваемом случае получено А.С. Строгановым [3] на основе наложения двух решений: при линейном возрастании нагрузки с положительным угловым коэффициентом  $\eta$  в интервале  $(0, \bar{t})$  и отрицательным  $\eta$  с момента  $t > \bar{t}$ .

Таким образом, задача сводится к получению аналогичного решения для нижнего слоя. Выражения для определения порового давления в этом слое при мгновенном приложении уплотняющей нагрузки в обозначениях [1] и [2] имеют вид:

- при односторонней фильтрации поровой воды

$$v_{r,t} = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \exp \left[ -\frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_{vr} t \right] \sin \frac{\mu_n (r-r_0)}{R-r_0}, \quad (1)$$

где

$$\beta_n = \frac{2p_0}{\mu_n} \left\{ r_0 + \frac{R-r_0}{\mu_n} \sin \mu_n - [r_0 + (R-r_0)] \cos \mu_n \right\} \frac{1 + (1+\alpha)^2 \mu_n^2}{(1+\alpha)^2 \mu_n^2 - \alpha} = T p_0; \quad (2)$$

$$T = \frac{2}{\mu_n} \left\{ r_0 + \frac{R-r_0}{\mu_n} \sin \mu_n - [r_0 + (R-r_0)] \cos \mu_n \right\} \frac{1 + (1+\alpha)^2 \mu_n^2}{(1+\alpha)^2 \mu_n^2 - \alpha}; \quad (3)$$

$\mu_n$  - корни трансцендентного уравнения

$$\mu(1+\alpha) = \operatorname{tg} \mu;$$

$$\alpha = \frac{r_0}{R-r_0};$$

- при двусторонней фильтрации поровой воды

$$v_{r,t} = \frac{2p_0}{R-r_0} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \sin \alpha (r-r_0) \exp(-\alpha^2 C_{vr} t) \gamma, \quad (4)$$

где

$$\gamma = \frac{1}{\alpha^2} [\sin \alpha (R-r_0) - \alpha (R-r_0) \cos \alpha (R-r_0)] + \frac{r_0}{\alpha} [1 - \cos \alpha (R-r_0)]. \quad (5)$$

Следуя [4], для элементарного приращения нагрузки  $dp_0$  запишем выражение:

$$dp_0 = \frac{\partial p_0}{\partial \tau} d\tau = \eta d\tau, \quad (6)$$

где  $\eta = \frac{p_0}{t}$ .

Подставив (6) в (1) и (4), заменив  $t$  на  $t - \tau$ , после интегрирования до момента  $t$  получим выражения для порового давления при линейном возрастании нагрузки с угловым коэффициентом  $\eta$ , которые запишутся:

- при односторонней фильтрации

$$v_{r,t} = \eta \sum_{n=1}^{\infty} T \frac{(R-r_0)^2}{C_{vr} \mu_n^2} \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_{vr} t \right] \right\} \sin \frac{\mu_n (r-r_0)}{(R-r_0)}; \quad (7)$$

- при двусторонней фильтрации

$$v_{r,t} = \eta \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{K}{\alpha^2 C_{vr}} [1 - \exp(-\alpha^2 C_{vr} t)], \quad (8)$$

где

$$K = \frac{2}{R-r_0} \sin \alpha (r-r_0) \gamma \quad (9)$$

Аналогичным путём определим нестабилизированную осадку слоя  $H_2$ :

- при односторонней фильтрации

$$S_t^{H_2} = a_0 \eta H_2 \left\{ t - \Phi \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \frac{(R-r_0)^2}{C_{vr} \mu_n^2} \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_{vr} t \right] \right\} \right\}, \quad (10)$$

где

$$a_0 = \frac{a}{1+e_0};$$

$$\Phi = \frac{2}{r_0 + R};$$

$$\psi_n = \frac{T}{\mu_n} (1 - \cos \mu_n);$$

- при двусторонней фильтрации

$$S_t^{H_2} = a_0 \eta H_2 \left\{ 1 - \frac{4}{\pi^3} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\rho [1 - \cos \alpha (R-r_0)]}{n^3 \alpha^2 C_{vr} t} [1 - \exp(-\alpha^2 C_{vr} t)] \right\}, \quad (11)$$

где  $\rho = \gamma \alpha^2$ .

Осадка до момента времени  $t \leq \bar{t}$  определяется согласно (10) и (11). Для  $t > \bar{t}$  необходимо использовать выражение:

$$S_t^{H_2'} = S_t^{H_2} - S_{(t-\bar{t})}^{H_2},$$

где  $S_{(t-\bar{t})}^{H_2}$  вычисляется путём подстановки в (10) и (11) соответствующего аргумента.

В окончательном виде (10) и (11) запишутся:

- при односторонней фильтрации

$$S_t^{H_2'} = a_0 p_0 H_2 \left\{ 1 + \frac{\Phi}{t} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \frac{(R-r_0)^2}{C_{vr} \mu_n^2} \exp\left(-\frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_{vr} t\right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_{vr} \bar{t}\right) \right] \right\} \quad (12)$$

-при двусторонней фильтрации

$$S_t^{H_2'} = a_0 p_0 H_2 \left\{ 1 - \frac{4}{\pi^3} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\rho [1 - \cos \alpha (R-r_0)]}{n^3 \alpha^2 C_{vr} \bar{t}} \exp(-\alpha^2 C_{vr} t) [\exp(-\alpha^2 C_{vr} \bar{t}) - 1] \right\} \quad (13)$$

Определение нестабилизированных осадок всего основания производится аналогично [1].

На рис. 2 и 3 приведены кривые консолидации одного и того же илистого основания мощностью  $H = 20,0$  м с несовершенными песчаными дренами длиной  $H_{op} = 15$  м, шагом  $l_{op} = 2,5$  м и диаметром  $d_{op} = 0,45$  м (при односторонней и двусторонней фильтрации, соответственно), при различных значениях времени  $\bar{t}$  (0, 2 и 4 месяца) наращивания уплотняющей нагрузки  $p_0 = 10,0$  тс/м<sup>2</sup>.

Из рисунков 2 и 3 следует, что время  $\bar{t}$  наращивания уплотняющей нагрузки существенно влияет на эффективность предпостроечного уплотнения при устройстве несовершенных песчаных дрен. Так, например, при  $\bar{t} = 4,0$  месяца осадка, соответствующая 75% степени консолидации, достигается:

- при односторонней фильтрации (рис.2) за время  $t_3 = 10,7$  месяца против  $t_1 = 8,7$  месяца при  $\bar{t} = 0$ ;

- при двусторонней фильтрации (рис.3) за время  $t_3 = 6$  месяцев против  $t_1 = 3,7$  месяца при  $\bar{t} = 0$ .

Таким образом, при односторонней фильтрации время достижения требуемой консолидации рассматриваемого слабого основания  $Q_{mp} = 0,75$  с учётом времени наращивания уплотняющей нагрузки  $\bar{t} = 4$  мес увеличивается в  $10,7/8,7 = 1,23$  раза, а при двусторонней фильтрации – в  $6,0/3,7 = 1,62$  раза.

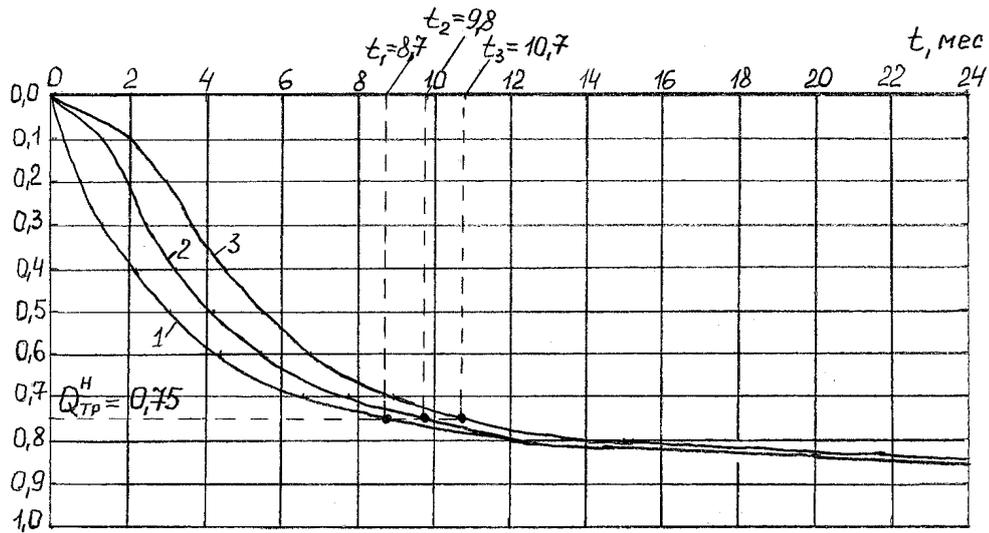


Рис.2. Кривые консолидации однородного илистого основания при односторонней фильтрации: 1 - при мгновенном приложении уплотняющей нагрузки  $p_0$ ; 2 и 3 - при наращивании нагрузки  $p_0$  по линейному закону в течение времени  $\bar{t} = 2$  и 4 месяца соответственно.

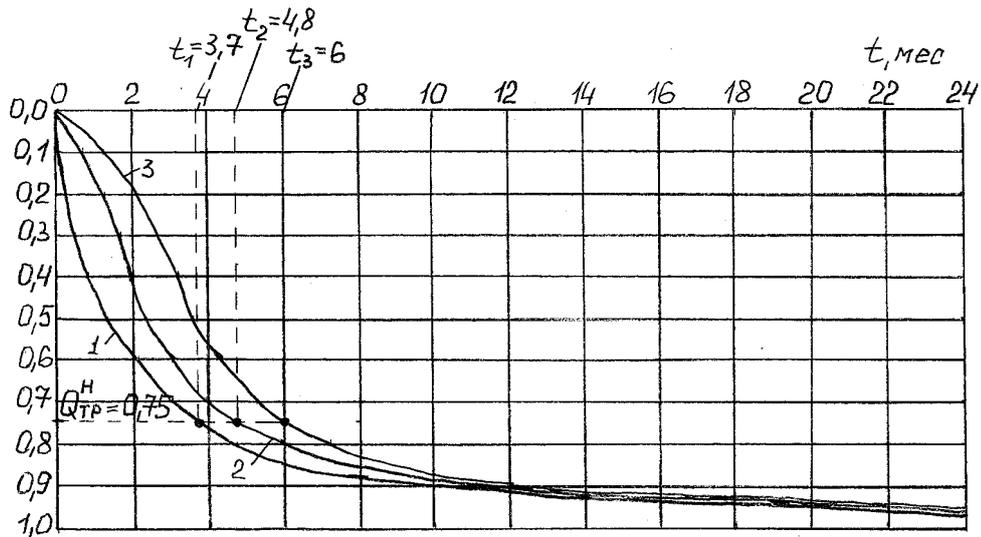


Рис.3. Кривые консолидации однородного илистого основания при двусторонней фильтрации: 1 - при мгновенном приложении уплотняющей нагрузки  $p_0$ ; 2 и 3 - при наращивании нагрузки  $p_0$  по линейному закону в течение времени  $\bar{t} = 2$  и 4 месяца соответственно.

### Выводы.

1. Предложены инженерные методы расчёта консолидации слабых оснований с висячими песчаными дренами, позволяющие учитывать действительный характер приложения уплотняющей нагрузки.
2. Темп наращивания уплотняющей нагрузки существенно влияет на процесс консолидации основания, включающего висячие песчаные дренаи. Поэтому неучёт этого фактора в расчётах уплотнения может приводить к существенно завышенным прогнозам.

### ЛИТЕРАТУРА.

1. Марченко А.С., Посуховский А.К., Школа А.В. Расчёт уплотнения слабых глинистых оснований при устройстве песчаных висячих дрен. Труды Союзморниипроекта, вып. 36, 1974г.
2. Школа А.В., Мосичева И.И. Инженерный метод расчёта предпостроечного уплотнения слабых глинистых оснований с применением несовершенных песчаных дрен при двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды. Сборник ОНМУ, 2003г.
3. Пособие по расчёту консолидации и устойчивости оснований, консолидируемых вертикальными дренами. НИИОПС, 1965г.
4. Флорин В.А. Основы механики грунтов, т.2. М., Госстройиздат, 1961г.