

**ВЛИЯНИЕ ПОСТЕПЕННОГО НАРАЩИВАНИЯ ПРИГРУЗКИ
НА ПЕРИОД ПРЕДПОСТРОЕЧНОГО УПЛОТНЕНИЯ
СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ОСНОВАНИЙ**

Мосичева И.И.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса*

Развитие морского транспорта на современном этапе возможно только при увеличении тоннажа заходящих в порт судов, а значит и его грузооборота. Приём судов с большей осадкой ведёт к дальнейшему увеличению глубин у причалов, а, следовательно, к укрупнению конструктивных элементов причальных сооружений.

В большинстве случаев районы строительства новых портов с благоприятными инженерно-геологическими условиями уже использованы. Поэтому новые порты или грузовые терминалы часто приходится располагать в местах залегания мощных толщ слабых глинистых водонасыщенных грунтов, представленных преимущественно лиманно-морскими глинистыми отложениями.

Возведение сооружений на слабых грунтах, имеющих большую сжимаемость, модуль деформации $E_0 \leq 5,0$ МПа и степень влажности более 0,8, является весьма сложной проблемой портового гидротехнического строительства. Главными причинами трудностей являются: малая несущая способность водонасыщенных глинистых грунтов, большие величины осадок и значительные сроки их стабилизации (это объясняется очень низкой фильтрационной способностью таких грунтов – коэффициент фильтрации в пределах 10^{-6} - 10^{-9} см/с) [1].

Однако, использование современных научных достижений в области расчёта, проектирования и строительства портовых сооружений на слабых грунтах позволяет снизить стоимость, сроки строительства и обеспечить нормальные условия длительной эксплуатации.

Во всех известных случаях использования слабых глинистых водонасыщенных грунтов в качестве оснований для возведения морских гидротехнических сооружений обязательным условием было проведение до начала строительства специальных мероприятий по инженерной подготовке этих грунтов с целью повышения характеристик их физико-механических свойств.

Одним из способов технической мелиорации слабых глинистых водонасыщенных грунтов является их предпостроечное уплотнение с устройством песчаных дрен: при мощности слабого слоя до 4-5 м – сквозных, или совершенных, а при больших мощностях – висячих, или несовершенных. В плане дрены расположены на определённом расстоянии друг от друга по квадратной либо треугольной сетке. Расстояние между дренами зависит от фильтрационных свойств слабого грунта и заданного времени предпостроечного уплотнения.

После устройства дрен на поверхность слабого грунта укладывают дренарующий песчаный слой толщиной 0,5-1,0 м, а затем поверх дренающего слоя создают уплотняющую нагрузку одним из способов:

- весом огрузочной насыпи (высота её может достигать значительных размеров и зависит от положения уровня грунтовых вод или уровня воды в море);

- весом осушенного слоя грунта при временном понижении уровня грунтовых вод в слое песчаного грунта, перекрывающего слабый слой грунта. При этом возникает дополнительная уплотняющая нагрузка Δp_0 за счёт увеличения объёмного веса обезвоженного грунта в пределах осушаемой территории;

- атмосферным давлением, когда фильтрующий песчаный слой грунта покрывают воздухонепроницаемой герметичной плёнкой, затем откачивают воздух из-под плёнки с помощью вакуумного насоса. Уплотняющая нагрузка создаётся за счёт разности давлений.

Инженерные методы расчёта консолидации однородного слоя слабого глинистого грунта в условиях одномерной задачи уплотнения при односторонней и двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды изложены в работах [3] и [5]. Решения указанных задач получены на основе предпосылок теории фильтрационной консолидации водонасыщенных грунтовых сред.

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 дренающего). При этом расчёт консолидации верхнего слоя производится согласно известным решениям осесимметричной задачи [3], а для расчёта уплотнения нижнего слоя предложено решение, основанное на замене действительной области уплотнения, представляющей собой грунтовый цилиндр, эквивалентной по объёму грунтовой полусферы. Габариты полусферы определяются из условий равенства площадей дренающей поверхности цилиндра и полусферы, а также среднего пути фильтрации воды в цилиндре и эквивалент-

ной полусфере. Нестабилизированные осадки всего основания определяются как сумма осадков обоих слоёв за одни и те же расчётные промежутки времени.

Решения по оценке консолидации слабого основания большой мощности с помощью глубокого дренирования получены для случая мгновенного приложения уплотняющей нагрузки. В реальных условиях строительства при предпостроечном уплотнении слабых оснований нагрузка обычно создаётся ступенями в течение некоторого заданного времени t_3 , соизмеримого со временем достижения требуемой осадки. Этим обусловлена необходимость учёта процесса наращивания нагрузки p_0 .

Решение для верхнего слоя, т.е. осесимметричной задачи, в рассматриваемом случае получено А.С. Строгановым [6] на основе наложения двух решений: при линейном росте нагрузки с положительным угловым коэффициентом η в интервале $(0, t_3)$ и отрицательным угловым коэффициентом с момента $t > t_3$.

Т.о., рассматриваемая задача сводится к получению аналогичного решения для нижнего консолидируемого слоя мощностью H_2 .

Избыточное поровое давление в слое H_2 , замененном полусферой, при мгновенном приложении уплотняющей нагрузки и при фильтрации поровой воды только в дренаж, размещенный по кровле слабого слоя, в обозначениях [3] определяется выражением:

$$v_{r,t} = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \exp \left[-\frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_v t \right] \sin \frac{\mu_n (r-r_0)}{R-r_0}, \text{ где } \beta_n = T p_0. \quad (1)$$

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

μ_n - корни трансцендентного уравнения $\mu(1 + \alpha) = tg \mu$;

$$\alpha = r_0 / (R - r_0) = r_0 / R_{np};$$

r_0 – радиус песчаной несовершенной (висячей) дрены.

В большинстве практических задач граничные условия по контактирующим поверхностям характеризуются дренирующими средами или водоупорными грунтами.

При фильтрации в дренажи по кровле и подошве слоя:

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

где $\gamma = \frac{1}{\alpha^2} [\sin \alpha R_{np} - \alpha R_{np} \cos \alpha R_{np}] + \frac{r_0}{\alpha} [1 - \cos \alpha R_{np}]$.

Следуя [7], для приращения нагрузки dp_0 запишем выражение:

$$dp_0 = \eta d\tau, \quad \text{где } \eta = p_0 / t_3$$

Заменяя t на $t-\tau$, после интегрирования получим выражения для порового давления при линейном возрастании нагрузки во времени с угловым коэффициентом η :

- при фильтрации поровой воды в кровлю слоя

$$v_{r,t} = \eta \sum_{n=1}^{\infty} T \frac{R_{np}^2}{C_{vr} \mu_n^2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{\mu_n^2}{R_{np}^2} C_{vr} t \right] \right\} \sin \frac{\mu_n (r-r_0)}{R_{np}}; \quad (3)$$

- при фильтрации в дренажи по кровле и подошве слоя

$$v_{r,t} = \eta \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{K}{\alpha^2 C_{vr}} [1 - \exp(-\alpha^2 C_{vr} t)], \quad \text{где } K = 2 \sin [\alpha \gamma (r-r_0)] \quad (4)$$

Аналогично определим нестабилизированную осадку слоя H_2 :

- при фильтрации поровой воды только в дренаж по кровле слоя

$$S(H_2, t) = a_0 \eta H_2 \left\{ t - \Phi \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \frac{(R-r_0)^2}{C_{vr} \mu_n^2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{\mu_n^2}{(R-r_0)^2} C_{vr} t \right] \right\} \right\}, \quad (5)$$

где $a_0 = a / (1+e_0)$; $\Phi = 2/R$; $\psi_n = T(1-\cos \mu_n) / \mu_n$

- при фильтрации в дренажи по кровле и подошве слоя

$$S(H_2, t) = a_0 \eta t H_2 \left\{ 1 - \frac{4}{\pi^3} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\rho [1 - \cos \alpha (R-r_0)]}{n^3 \alpha^2 C_{vr} t} [1 - \exp(-\alpha^2 C_{vr} t)] \right\}, \quad (6)$$

где $\rho = \gamma \alpha^2$.

Расчет осадки в период роста нагрузки определяется по (5) и (6).

В последующий период: $S(H_2, t) = S(H_2, t = t_3 + \Delta t) - S(H_2, \Delta t)$.

Определение нестабилизированных осадок всего основания производится аналогично [3] суммированием осадок обоих слоёв.

В работе [2] приведены численные расчёты степени консолидации основания илов мощностью $H = 20,0$ м с несовершенными песчаными дренами длиной $H_{др} = 15$ м, шагом $l_{др} = 2,5$ м и диаметром $d_{оп} = 0,45$ м (при односторонней и двусторонней фильтрации, соответственно) при периодах 0, 2 и 4 месяца создания нагрузки $p_0 = 10,0$ тс/м².

Результаты расчётов показали, что период создания нагрузки влияет на скорость предпостроечного уплотнения при устройстве несовершенных песчаных дренах, особенно в начальный период деформирования, наиболее опасный с точки зрения устойчивости массива слабого грунта, когда его структура далека от стабилизации.

Например, при $t_3 = 4$ месяца осадка, соответствующая 75% степени консолидации, достигается:

- при фильтрации в дренаж по кровле слоя за 10,7 месяцев против 8,7 месяца при $t_3 = 0$;

- при фильтрации в дренажи по кровле и подошве слоя за 6 месяцев против 3,7 месяца при $t_3 = 0$.

Таким образом, при фильтрации в дренаж по кровле слоя время достижения степени консолидации $Q = 0,75$, с учётом времени создания нагрузки 4 месяца, увеличивается в 1,23 раза, а при фильтрации в дренажи по кровле и подошве слоя – в 1,62 раза [2, 5].

Степень консолидации слабого основания определяет прочностные характеристики консолидируемого слоя во времени и отражает готовность грунтового массива работать в качестве основания терминала, открытого склада и т.д.

Таким образом, выполненные численные расчеты подтверждают, что учёт времени приложения уплотняющей нагрузки существенно влияет на характер и результаты консолидации в эксплуатационный период.

Выводы

1. Период наращивания нагрузки предпостроечного уплотнения зависит от граничных условий и существенно сказывается на времени

достижения требуемой степени консолидации слабого глинистого основания.

2. Этот фактор подлежит учёту при необходимости ввода объектов строительства в эксплуатацию до завершения консолидации слабого основания, что особенно актуально для транспортных терминалов.

3. Предложен простой инженерный приём, позволяющий с достаточной для практических целей точностью, получить решение задачи для широкого круга общих исходных условий. Указанный подход легко обобщается и на иные граничные условия.

SUMMARY

The justifications of the need to consider the period of creation pre-construction surcharging as sand mound at the device imperfect vertical sand drains to reduce the time of consolidation of weak clay foundation soils saturated hydraulic structures made.

Литература

1. Абелев М.Ю. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений // М., Стройиздат, 1973, 288 с.

2. А.В.Школа, И.И.Мосичева. Учёт времени создания огрузки при предпостроечном уплотнении слабых глинистых оснований портовых территорий с несовершенными дренами // Збірник наукових праць „Будівельні конструкції”. Вип. 58. – Київ, 2003. С. 181–187.

3. Марченко А.С., Посуховский А.К., Школа А.В. Расчёт уплотнения слабых глинистых оснований при устройстве песчаных висячих дрен. Труды Союзморниипроекта, вып. 36, 1974. С. 22 – 28.

4. Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В., Абелев М.Ю., Тер-Мартirosян З.Г. Прогноз скорости осадок оснований сооружений (под ред. Н.А. Цытовича). М., Стройиздат, 1967, 239 с.

5. 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, 2003. С. 125 - 130.

6. Пособие по расчёту консолидации и устойчивости оснований, консолидируемых вертикальными дренами. НИИОПС, 1965.

7. Флорин В.А. Основы механики грунтов, т. 1, т. 2, М.-Л. Госстройиздат, 1959, 357 с., 1961, 543 с.