

ОСОБЕННОСТИ КОНСОЛИДАЦИИ СЛАБЫХ ГЛИНИСТЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Мосичева И.И.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
г. Одесса, Украина

АНОТАЦІЯ: запропоновано методику оцінювання передбудівельного ущільнення слабких водонасичених глинистих основ портових територій при улаштуванні у них недосконалих вертикальних піщаних дрін.

АННОТАЦИЯ: предложена методика оценки предпостроечного уплотнения слабых водонасыщенных глинистых оснований портовых территорий при устройстве в них несовершенных вертикальных песчаных дрен.

ABSTRACT: estimation methods preconstruction seal weak water-saturated clay base port areas at the device in their imperfect vertical sand drains.

В портовом строительстве инженерные сооружения различного функционального и конструктивного назначения возводятся, как правило, на слабых водонасыщенных глинистых грунтах [1]. Это априори предполагает улучшение физико-механических характеристик таких оснований посредством предпостроечного уплотнения.

Одним из эффективных способов ускорения процесса консолидации является применение вертикальных песчаных дрен, плоского поверхностного дренажа толщиной 0,4-0,5 м и последующего создания уплотняющей нагрузки [3].

В практике портового гидротехнического строительства мощность слабых водонасыщенных глинистых грунтов может достигать 25 и более метров. В этих случаях приходится применять дрены, не достигающие водоупора, т.е. несовершенные.

Одной из причин, не позволяющих широко применять способ предпостроечного уплотнения слабых оснований с помощью несовершенных песчаных дрен, являлось отсутствие методов их расчёта,

в частности, консолидации поддренного слоя, при различных граничных условиях.

На рис. 1 представлена расчётная схема консолидации слабого основания при применении несовершенных песчаных дрен, согласно которой расчёт консолидации основания мощностью H сводится к раздельному определению нестабилизированных осадок $S_t^{H_1}$ (верхнего слоя, в пределах дрен) и $S_t^{H_2}$ (нижнего слоя, под дренами) с последующим их суммированием при одних и тех же значениях времени консолидации t [4]. Задача уплотнения слабого основания по предложенной расчётной схеме состоит в получении выражения для определения $S_t^{H_2}$ нестабилизированных осадок нижнего слоя.

Предлагаемая методика расчёта предпостроечного уплотнения оснований, сложенных однородной толщиной слабого глинистого водонасыщенного грунта при водонепроницаемой и водопроницаемой нижней границе основана на известных предпосылках теории фильтрационной консолидации грунтов [7] и принятого дополнительного допущения о замене действительной области уплотнения эквивалентной ей грунтовой полусферой радиусом R [8].

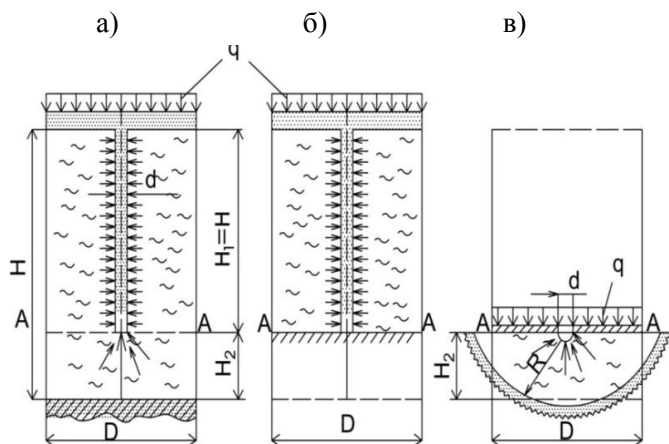


Рис. 1. Расчётные схемы уплотнения основания с несовершенными песчаными дренами: а – всего основания мощностью $H = H_1 + H_2$; б – верхнего слоя мощностью $H_1 = H_{op}$; в – нижнего слоя мощностью $H_2 = H - H_1$

Для принятой условной области уплотнения дифференциальное уравнение консолидации, начальное и граничные условия имеют вид [2]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vr} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right);$$

$$u|_{t=0} = q; \quad u|_{r=r_0} = 0; \quad u|_{r=R} = 0,$$

где u – поровое давление;

t – время;

C_{vr} – коэффициент консолидации;

r – переменный радиус полусферы;

q – величина равномерно распределённой уплотняющей нагрузки;

r_0 – радиус дрены;

R – радиус расчётной полусферы, определяемый по формуле [1]:

$$R = 1,145 \sqrt[3]{\left(\frac{D_e}{2}\right)^2 H_2}.$$

Фильтрационный критерий эквивалентности уплотняемого цилиндрического объёма грунта под дренажной и равной ему грунтовой полусферы, а также площадей по контакту подошвы цилиндра грунта с подстилающим дренирующим или водоупорным слоем принят соответственно из равенств:

$$\int_{V_{цил}} F_1(A_1, r_1, z) dA_1 dr_1 dz = \int_{V_{экр}} F_2(A_2, B, r_2) dA_2 dB dr_2$$

$$\int_{S_{круг}} F_3(A_1, r_1, z = H_2) dA_1 dr_1 = \int_{S_{нов. экв. области}} F_4(A_2, B, r_2 = R_{Э1}) dA_2 dB$$

где $V_{цил}$ – объём эффективного грунтового цилиндра под дренажной;

$V_{\text{экв}}$ – объём области, эквивалентной грунтовому цилиндру;

$S_{\text{кргу}}$ – площадь контакта эффективного цилиндра с подстилающим слоем;

$S_{\text{пов. экв. области}}$ – площадь эквивалентной области, где выполнено условие на границе (водоупор или дренирование).

Выполнение обоих условий в каждый момент времени процесса консолидации означает выполнение равенства $R_{\text{э1}} = \alpha R_{\text{э}}$, где α – погрешность в реализации критериев эквивалентности.

Для количественной оценки расчёта консолидации нижнего (поддренного) слоя грунта H_2 были выполнены компрессионные испытания идентичных образцов ила суглинистого, моделирующие разные условия фильтрации.

Серия 1 – при фильтрации поровой воды в вертикальном направлении; серия 2 – при горизонтальной фильтрации в центральную песчаную дрину диаметром $d_{\text{др}} = 2,0$ см; серия 3 – при фильтрации в центральное отверстие в штампе диаметром $d_{\text{отв}} = 2,0$ см; серия 4 – при вертикальной фильтрации в центральное отверстие в штампе и в днище прибора.

Испытания проведены на нестандартных компрессионных приборах (одомерах), отличающихся от обычных размерами образцов (диаметр $D_0 = 140$ мм и высота $H_0 = 50$ мм) и конструктивными особенностями, исключающими перекокс штампа и выдавливание слабого грунта (иловой пасты в текучем состоянии). Образцы для проведения консолидационных испытаний приготавливались по так называемой «сухой» методике [5].

Целью опытов серий 1 и 2 являлось получение экспериментальных значений коэффициентов консолидации при вертикальной (C_v) и радиальной (C_r) фильтрации поровой воды.

Коэффициенты консолидации C_v и C_r по результатам опытов серий 1 и 2 определены по методикам, приведенным в [6], а величина коэффициента консолидации C_{vr} при комбинированном направлении фильтрации поровой воды в опытах серий 3 и 4 – по предлагаемой методике с использованием выражения:

$$C_{vr} = T_{v50\%} \frac{\left(R - \frac{d_{\partial p}}{2}\right)^2}{t_{50\%}},$$

где $T_{v50\%}$ – фактор времени при величине степени консолидации образца $Q_{vr} = 0,50$, определяемый по опытному графику зависимости $Q_{vr} = f(T_{vr}, n, m)$, при $n = \frac{D_0}{d_{\partial p}} = 7$ и $m = \frac{H_0}{d_{\partial p}} = 2,5$;

$t_{50\%}$ – время достижения степени консолидации образца $Q_{vr} = 0,50$, определяемое по опытному графику зависимости $Q_{vr} = f(\lg t)$ [6].

На рисунках 2 и 3 приведены графики консолидации образцов иловой пасты по результатам опытов серий 3 и 4.

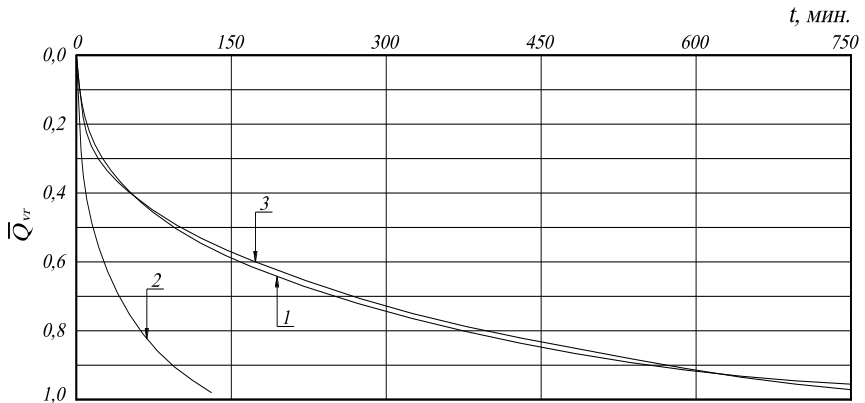


Рис. 2. Кривые консолидации при испытании с центральным отверстием в штампе диаметром $d = 2,0$ см (по данным 3-х опытов):

1 – опытная кривая; 2 – расчётная кривая при $\overline{C_{vr}^p} = (\overline{C_v} + \overline{C_r}) / 2 = 1,98 \text{ см}^2 / \text{мин}$;

3 – то же, при $\overline{C_{vr}^{on}} = 0,33 \text{ см}^2 / \text{мин}$.

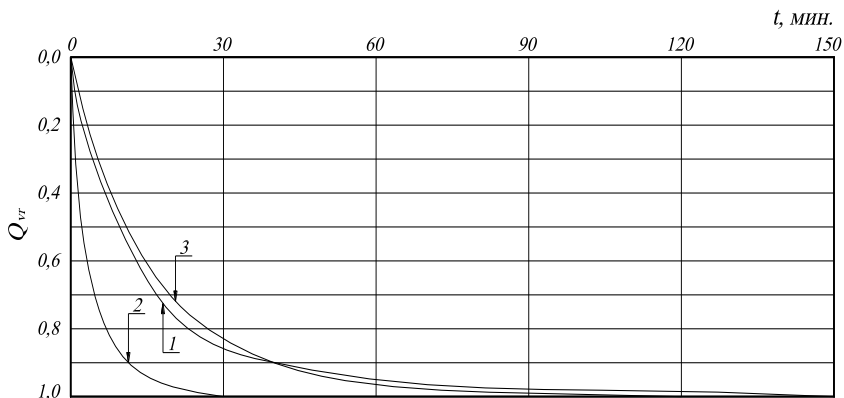


Рис. 3. Кривые консолидации при фильтрации поровой воды в днище и центральное отверстие в штампе диаметром $d = 2,0$ см (по данным 3-х опытов):

1 – опытная кривая; 2 – расчётная кривая при $\overline{C_{vr}^p} = (\overline{C_v} + \overline{C_r}) / 2 = 1,98 \text{ см}^2 / \text{мин}$;

3 – то же, при $\overline{C_{vr}^{on}} = 0,56 \text{ см}^2 / \text{мин}$

На этих же рисунках для сравнения приведены графики консолидации, полученные в результате расчёта консолидации образцов по методам, изложенным в [8], при двух значениях коэффициента консолидации $\overline{C_{vr}}$, полученных опытным и расчётным путями.

Как видно из указанных рисунков, расчётные кривые консолидации, полученные с использованием значений коэффициентов $\overline{C_{vr}}$, определённых непосредственно по результатам соответствующих консолидационных испытаний, достаточно тесно согласуется с опытными кривыми.

Корректность методических предпосылок и принятой расчётной схемы показана на рис. 4, где приведены кривые консолидации, полученные по результатам всех четырёх серий опытов. Все четыре опытных графика находятся в логической согласованности между собой.

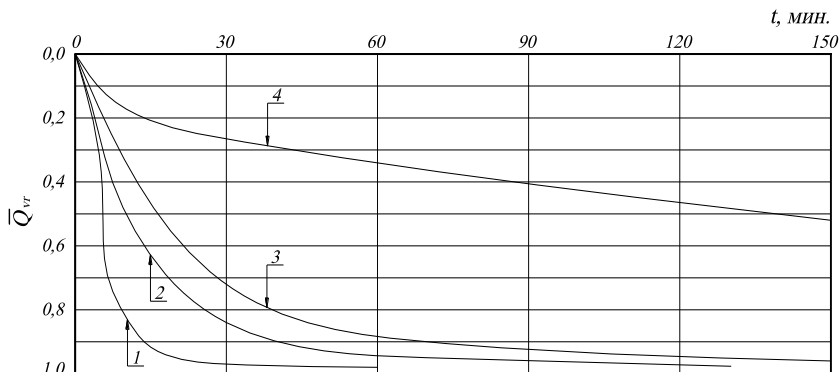


Рис. 4. Сводные кривые консолидации при фильтрации поровой воды:
 1 – в центральную песчаную дрину $d = 2,0$ см;
 2 – в центральное отверстие в штампе $d = 2,0$ см и днище одометра;
 3 – в днище одометра; 4 – в центральное отверстие в штампе.

Выводы:

1. Предложенное допущение о тождественной замене области уплотнения нижнего (поддренного) слоя равновеликой ей полусферой получило экспериментальное обоснование.
2. Расчётная реализация изложенного подхода вполне корректна при определении коэффициента консолидации C_{vr} в соответствующих специальных испытаниях с учётом моделирования условий дренирования.

Литература.

1. Абелев М.Ю. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений // М: Стройиздат, 1973. – С. 288.
2. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. М: Наука, 1964. – С. 286.
3. Марченко А.С. Морские портовые сооружения на слабых грунтах // М: Транспорт, 1976. – С.192.
4. Марченко А.С., Посуховский А.К., Школа А.В. Расчёт уплотнения слабых глинистых оснований при устройстве всячих песчаных дрен// В кн.: Портовое гидротехническое строительство. Вып.36. М: Транспорт, 1974.– С.95-101.
5. Посуховский А.К., Мосичева И.И. (под руков. проф. Школа А.В.). Экспериментальные исследования консолидации образцов илистого грунта в раз-

личных условиях дренирования / Вісник ОДАБА. Вип. 13. – Одеса: ОДАБА, 2004.– С. 142-148.

6. РД 31.31.06 – 79. Руководство по расчёту уплотнения слабых грунтов для портового гидротехнического строительства // М: 1983. – С. 72.

7. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Т II // М-Л: Госстройиздат, 1961. – С. 507.

8. 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 // Вісник Одеського національного морського університету. Вип.10. – Одеса: ОНМУ, 2003.– С. 125-130.