

УДК 624.131.6

ОСОБЕННОСТИ КОНСОЛИДАЦИИ СЛАБЫХ ГЛИНИСТЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Мосичева И.И.

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

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

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 расчет консолидации основания мощностью H сводится к раздельному определению нестабилизированных осадок $S_i^{H_1}$ (верхнего слоя, в пределах дрен) и $S_i^{H_2}$ (нижнего слоя, под дренами) с последующим их суммированием при одних и тех же значениях времени консолидации t [4]. Задача уплотнения слабого основания по предложенной расчетной схеме состоит в получении выражения для определения $S_i^{H_2}$ нестабилизированных осадок нижнего слоя.

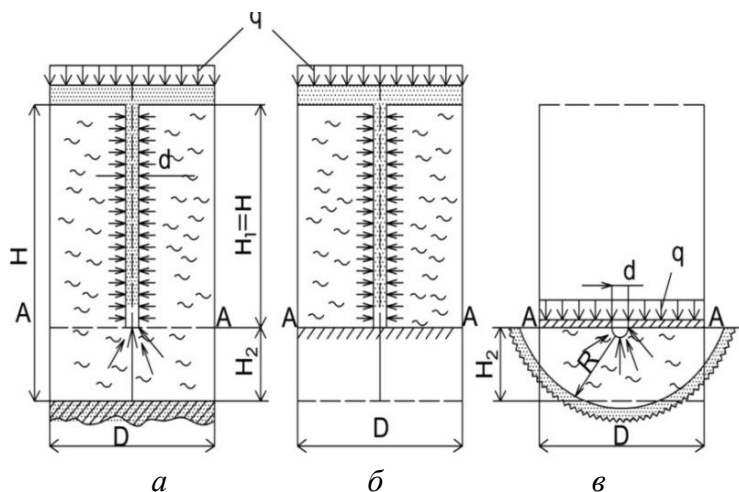


Рис. 1. Расчетные схемы уплотнения основания с несовершенными песчаными дренами:

a – всего основания мощностью $H = H_1 + H_2$; $б$ – верхнего слоя мощностью

$$H_1 = H_{op}; \text{ в} – \text{нижнего слоя мощностью } H_2 = H - H_1$$

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

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 нагрузки уплотнения; r_0 – радиус дрена; R – радиус расчётной полусферы, определяемый по формуле [1]:

$$R = 1,1453 \sqrt{\left(\frac{D_e}{2} \right)^2 H_2}.$$

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

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

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

где $V_{\text{цил}}$ – объем эффективного грунтового цилиндра под дреной; $V_{\text{экв}}$ – объем области, эквивалентной грунтовому цилиндру; $S_{\text{конт}}$ – площадь контакта эффективного цилиндра с подстилающим слоем; $S_{\text{нов. экв. области}}$ – 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 через центральное отверстие в штампе и в днище прибора.

Испытания проведены на нестандартных компрессионных приборах (одемометрах), при размерах образцов (диаметр $D_0 = 140$ мм и высота $H_0 = 50$ мм) с отсутствием перекоса штампа и выдавливания слабого грунта (иловой пасты в текучем состоянии). Образцы для 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 [6], а величина C_{vr} при комбинированном направлении фильтрации поровой воды в опытах серий 3 и 4 – по предлагаемой методике с использованием выражения:

$$C_{vr} = T_{vr50\%} \frac{\left(R - \frac{d_{\text{др}}}{2} \right)^2}{t_{50\%}},$$

где $T_{vr50\%}$ – фактор времени при величине степени консолидации образца $Q_{vr} = 0,50$, определяемый по опытному графику зависимости $Q_{vr} = f(C_{vr}, n, m)$ при $n = \frac{D_0}{d_{op}} = 7$ и $m = \frac{H_0}{d_{op}} = 2,5$; $t_{50\%}$ – время достижения степени консолидации образца $Q_{vr} = 0,50$, определяемое по опытному графику зависимости $Q_{vr} = f(kt)$ [6].

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

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

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

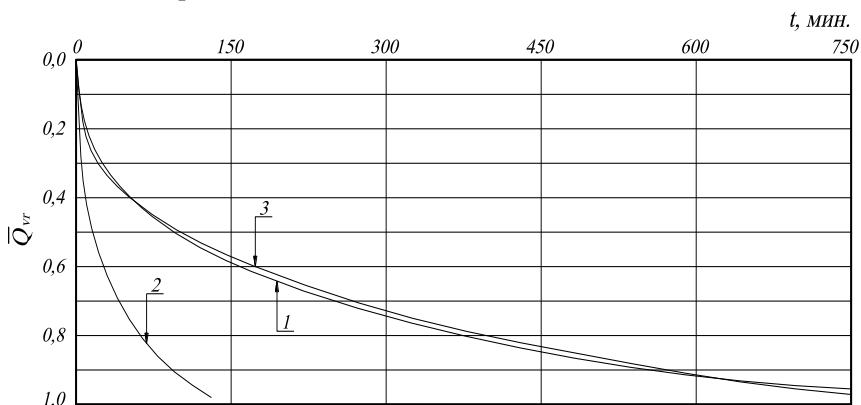


Рис. 2. Кривые консолидации при испытании с центральным отверстием в штампе диаметром $d = 2,0$ см (по данным 3-х опытов):

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

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

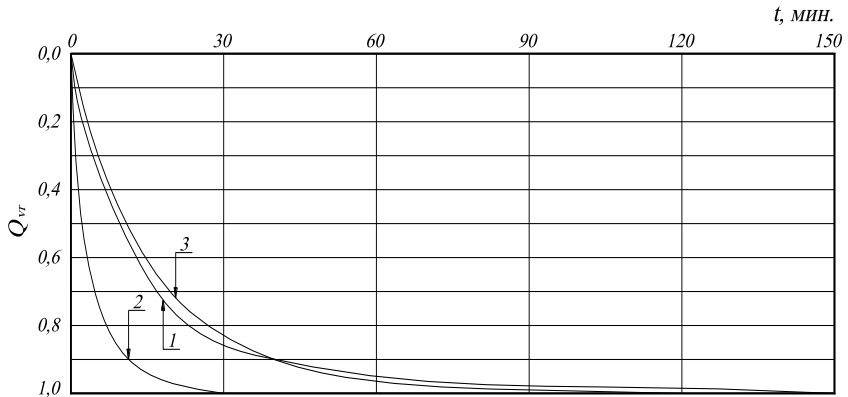


Рис. 3. Кривые консолидации при фильтрации поровой воды в днище и центральное отверстие в штампе диаметром $d = 2,0$ см (по данным трех опытов):
 1 – опытная кривая; 2 – расчетная кривая при $\overline{C_{vr}^p} = (\overline{C_v} + \overline{C_r}) / 2 = 1,98 \text{ см}^2 / \text{мин}$;
 3 – то же, при $\overline{C_{vr}^{on}} = 0,56 \text{ см}^2 / \text{мин}$

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

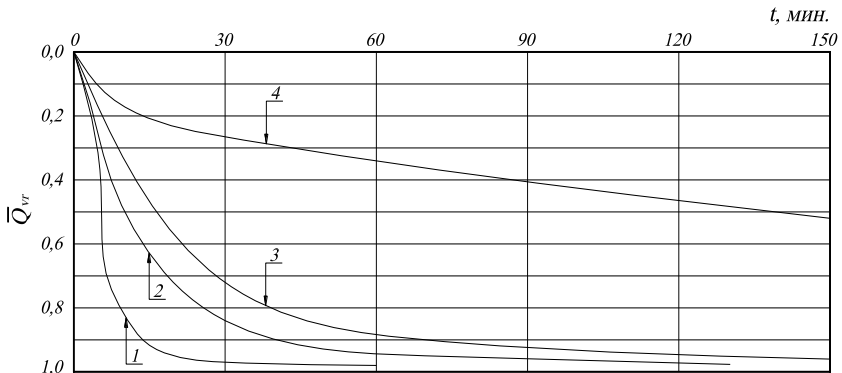


Рис. 4. Сводные кривые консолидации при фильтрации поровой воды:
 1 – в центральную песчаную дрину $d = 2,0$ см;
 2 – в центральное отверстие в штампе $d = 2,0$ см и днище одометра;
 3 – в днище одометра; 4 – в центральное отверстие в штампе

Выводы

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

Литература

1. Абелев, М.Ю. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений / М.Ю. Абелев // – М.: Стройиздат, 1973. – С. 288.
2. Араманович, И.Г. Уравнения математической физики / И.Г. Араманович, В.И. Левин // – М.: Наука, 1964. – С. 286.
3. Марченко, А.С. Морские портовые сооружения на слабых грунтах / А.С. Марченко // – М.: Транспорт, 1976. – С.192.
4. Марченко, А.С. Расчёт уплотнения слабых глинистых оснований при устройстве висячих песчаных дрен / А.С. Марченко, А.К. Посуховский, А.В. Школа // В кн.: Портовое гидротехническое строительство. Вып.36. – М.: Транспорт, 1974.– С.95-101.
5. Посуховский, А.К. Экспериментальные исследования консолидации образцов илистого грунта в различных условиях дренирования / А.К. Посуховский, И.И. Мосичева (под руков. проф. Школа А.В.) // Вісник ОДАБА. Вип. 13.– Одесса: 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 / В.А. Флорин // М.-Л.: Госстройиздат, 1961. – С. 507.
8. Школа, А.В. Инженерный метод расчёта предпостроечного уплотнения слабых глинистых оснований с применением несовершенных песчаных дрен при двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды / А.В. Школа, И.И. Мосичева // Вісник Одеського національного морського університету. Вип.10. – Одесса: ОНМУ, 2003.– С. 125–130.