

*А.В.Школа, И.И.Мосичева  
Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры.*

**ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПРАКТИЧЕСКОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА  
УПЛОТНЕНИЯ СЛАБЫХ ОСНОВАНИЙ С НЕСОВЕРШЕННЫМИ  
ПЕСЧАНЫМИ ДРЕНАМИ.**

*Приведены результаты выполненных сопоставительных расчётов серии примеров уплотнения слабого основания с несовершенными песчаными дренами двумя методами: численным в строгой постановке задачи и аналитическим с допущениями, упрощающими расчётную схему. Исходя из принятой величины допускаемой погрешности  $\pm 5\%$  по степени консолидации всего основания, определены области применения аналитических методов расчёта для двух случаев: односторонней и двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды.*

В работах [1], [2] приведены аналитические методы расчёта предпостроечного уплотнения оснований, сложенных однородной толщиной слабого глинистого водонасыщенного грунта при водонепроницаемой и водопроницаемой нижней границе.

Расчётной схемой указанных методов являлся грунтовый цилиндр с центральной несовершенной дренами, разделённый по высоте на два слоя: верхний с дренами и нижний – без дренами с водопроницаемой границей между ними. Согласно данной схеме, расчёт уплотнения всего грунтового цилиндра высотой  $H$  сводится к раздельному определению нестабилизированных осадков верхнего  $H_1$  и нижнего  $H_2$  слоёв с последующим их суммированием при одних и тех же значениях времени консолидации. При этом для определения нестабилизированных осадков  $S_t^{H_1}$  используется известное решение [3] расчёта консолидации грунтового цилиндра с совершенной центральной песчаной дренами, а для определения нестабилизированных осадков  $S_t^{H_2}$  нижнего слоя – предложенное решение, основанное на принятии допущения о замене действительной области уплотнения (цилиндра) расчётной в виде полусферы, эквивалентной в геометрическом отношении цилиндру.

С целью оценки величины погрешности результатов расчёта уплотнения слабых оснований с несовершенными песчаными дренами аналитическим методом, обусловленной указанным выше принятым допущением, была выполнена серия сопоставительных расчётов

однородного грунтового цилиндра высотой  $H=20,0\text{м}$  двумя методами: численным (без разделения на слои) и предложенным при водонепроницаемой и дренирующей нижней границе. Расчёты численным методом были реализованы по специально составленным программам на персональном компьютере, а аналитическим – вручную.

Исходные данные примеров расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№ примера	$H, \text{м}$	$H_1, \text{м}$	$H_2, \text{м}$	$D_e, \text{м}$	$d_{op}, \text{м}$	$k_3 = \frac{H_1}{H}$	$m = \frac{H_2}{d_{op}}$	$n = \frac{D_e}{d_{op}}$
1	20.0	10.0	10.0	3.5	0.5	0.5	20	7
2	20.0	15.0	5.0	3.5	0.5	0.75	10	7
3	20.0	18.0	2.0	3.5	0.5	0.9	4	7
4	20.0	18.0	10.0	3.0	0.5	0.5	20	6
5	20.0	15.0	5.0	3.0	0.5	0.75	4	6
6	20.0	18.0	2.0	3.0	0.5	0.9	4	6
7	20.0	10.0	10.0	2.5	0.5	0.5	20	5
8	20.0	15.0	5.0	2.5	0.5	0.75	10	5
9	20.0	18.0	2.0	2.5	0.5	0.9	4	5
10	20.0	10.0	10.0	2.0	0.5	0.5	20	4
11	20.0	15.0	5.0	2.0	0.5	0.75	10	4
12	20.0	18.0	2.0	2.0	0.5	0.9	4	4

Примечание: все расчёты производились при  $C_v = C_r = 0.633\text{м}^2 / \text{мес}$ .

По результатам выполненных сопоставительных расчётов, исходя из величины допускаемой погрешности  $\pm 5\%$  по степени консолидации  $Q_t^H$  всего грунтового цилиндра высотой  $H = H_1 + H_2 = 20.0\text{м}$ , были определены области практического применения предложенных инженерных методов расчёта предпостроечного уплотнения слабых оснований, которые характеризуются следующим образом:

а) для случая с односторонней вертикальной фильтрацией поровой воды (таблица 2) – при  $k_{загл} \geq 0.5, n \geq 4$  и  $Q_t \geq 0.6$ ;

б) для случая с двусторонней вертикальной фильтрацией поровой воды (таблица 3) – при  $k_{загл} \geq 0.5, n \geq 4$  и  $Q_t \geq 0.4$ .

Как следует из таблицы 1, результаты расчётов, представленных в таблицах 2 и 3, получены для грунтового цилиндра высотой  $H = 20.0\text{м}$ . С целью проверки справедливости сделанных выше выводов относительно областей практического применения рассмотренных инженерных методов расчёта предпостроечного уплотнения оснований с несовершенными песчаными дренами при других значениях  $H$  дополнительно была выполнена контрольная серия примеров при  $H = 10.0, 12.0, 16.0$  и  $24.0\text{м}$  и тех же значениях коэффициента заглубления дрен  $k_{загл}$  и отношения  $n$ . Результаты этих расчётов приведены в таблице 4.

Таблица 2.

Время уплот- нения $t$ , мес.	$k_{загл} = H_1 / H$											
	$k_{загл} = 0.5$				$k_{загл} = 0.75$				$k_{загл} = 0.9$			
	$n = D_e / d_{др}$											
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
1	10.3	8.1	8.8	9.5	8.6	-5.4	-15.0	-20.8	-4.1	-14.5	-20.8	-20.1
2	12.8	12.1	10.1	10.8	4.5	-2.4	-4.3	-10.2	0.7	-3.5	-8.7	-18.0
3	16.6	11.4	12.2	10.2	6.1	3.3	1.2	-4.5	1.3	-2.7	-9.6	-7.3
4	12.4	13.4	9.7	11.9	5.6	4.9	0.1	-2.0	0.8	0.1	-2.5	-4.5
5	12.6	12.9	10.4	11.6	5.7	4.7	2.5	0.0	0.1	0.2	-0.3	-4.0
6	13.1	12.2	10.3	10.9	6.7	4.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-2.1
8	14.2	12.5	8.7	9.2	5.1	3.6	-0.1	0.6	0.3	-0.6	-0.5	-1.1
10	15.1	12.8	7.8	9.0	4.1	2.8	-0.2	0.4	-0.1	-0.7	-1.0	-0.7
12	15.6	13.2	7.1	7.5	5.0	2.8	0.0	-0.1	0.1	-0.8	-1.1	-1.5
15	16.8	12.6	6.7	6.7	4.4	2.2	-0.2	-0.9	-0.3	-0.6	-1.5	-1.5
18	19.7	14.0	6.2	4.8	4.0	1.2	-0.7	-2.1	-0.1	-0.6	-1.5	-1.6
24	22.6	14.7	4.9	4.3	3.2	-0.8	-	-2.9	-0.3	-	-	-
30	19.4	15.1	5.9	3.2	2.9	-	-	-3.4	-0.2	-	-	-
36	20.0	15.6	5.5	2.5	2.0	-	-	-3.8	0.0	-	-	-

Примечание: все расчёты производились при радиусе полусферы:

$$R = 1.1453 \sqrt{\left(\frac{D_e}{2}\right)^2 H_2}.$$

Таблица 3.

Время уплот- нения $t$ , мес.	$k_{загл} = H_1 / H$											
	$k_{загл} = 0.5$				$k_{загл} = 0.75$				$k_{загл} = 0.9$			
	$n = D_e / d_{др}$											
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
1	-8.9	-4.9	-2.4	0.6	-1.8	4.1	8.7	14.2	-2.3	3.5	7.9	13.2
2	-3.2	-3.1	-1.9	0.6	0.5	1.3	3.2	6.7	-1.3	-0.2	1.7	5.3
3	0.2	-1.2	-1.3	0.3	2.0	1.1	1.4	3.5	-0.5	-0.6	0.2	2.8
4	2.5	0.6	-0.5	0.1	2.8	1.4	0.8	1.8	-0.1	-0.5	-0.2	1.7
5	4.0	2.1	0.4	0.3	3.2	1.8	0.6	0.9	0.0	-0.3	-0.3	1.1
6	5.2	3.3	1.4	0.6	3.4	2.1	0.7	0.4	0.0	-0.2	-0.3	0.7
8	6.8	5.1	3.0	1.5	3.3	2.3	0.9	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.3
10	7.9	6.4	4.3	2.4	3.0	2.2	1.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.2
12	8.6	7.2	5.3	3.3	2.6	2.0	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
15	9.3	8.1	6.4	4.4	2.0	1.6	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
18	9.6	8.5	7.0	5.2	1.4	1.2	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
24	9.5	8.6	7.4	6.0	0.7	0.7	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
30	8.9	8.2	7.3	6.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
36	8.1	7.6	6.8	5.9	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Примечание: все расчёты производились при радиусе полусферы:

$$R = \sqrt{2} H_2.$$

Таблица 4.

Время уплотнения $t$ , мес	$k_{загл} = H_1 / H$											
	$k_{загл} = 0.5$				$k_{загл} = 0.75$				$k_{загл} = 0.9$			
	$n = D_e / d_{др}$											
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
При $H=10м$												
4	10.0	8.2	8.8	9.5	8.6	-2.3	-12.2	-7.7	-4.2	-14.2	-16.2	-18.3
6	12.4	16.1	13.0	16.0	4.7	-2.4	-4.3	-4.5	0.4	-5.5	-10.3	-10.2
12	11.2	4.3	5.4	2.3	6.3	-3.8	-6.7	3.5	3.5	7.2	-4.3	4.8
24	20.7	5.2	3.3	6.8	5.8	4.0	5.0	2.2	1.6	5.9	-6.2	3.2
При $H=12м$												
4	8.9	7.1	7.7	8.4	7.5	-1.2	-13.3	-8.8	-5.3	-15.3	-17.2	-19.4
6	11.3	15.0	11.9	14.9	3.6	-1.3	-5.4	-5.6	-0.7	-6.6	-11.3	-11.3
12	10.1	3.2	5.3	1.2	5.2	-4.9	-7.8	-2.4	2.4	8.1	-5.4	3.7
24	19.6	4.1	3.8	5.7	4.7	2.9	3.9	1.1	0.5	6.8	-7.3	2.1
При $H=16м$												
4	5.2	7.3	6.2	3.3	2.2	7.3	-2.2	4.0	-3.7	-7.8	9.3	4.1
6	4.3	8.4	5.1	4.4	3.9	4.8	-4.3	5.0	-1.2	-4.9	3.1	3.8
12	12.1	6.6	4.5	2.8	4.0	4.2	-3.7	3.2	-1.4	1.2	3.7	2.5
24	9.8	5.0	2.0	-0.4	6.1	3.4	6.7	5.0	4.1	4.3	0.7	0.1
При $H=24м$												
4	6.3	7.4	5.1	4.4	1.1	6.2	-3.3	2.9	-4.8	-6.7	8.2	4.3
6	5.3	9.5	4.0	5.4	4.9	4.8	-3.7	3.9	-2.3	-6.0	4.1	3.8
12	13.2	7.7	3.4	3.9	2.9	3.1	-1.2	2.1	-2.5	0.3	2.8	1.4
24	10.9	4.7	0.9	-1.5	5.0	2.3	5.1	3.9	3.0	3.2	0.7	-1.2

Как показал анализ результатов расчёта контрольной серии примеров, величина погрешности предложенного метода практически не зависит от величины общей мощности основания  $H$ .

#### Литература.

1. Марченко А.С., Посуховский А.К., Школа А.В. Расчёт уплотнения слабых глинистых оснований при устройстве висячих песчаных дрен// В кн.: Портовое гидротехническое строительство. Вып.36. М., Транспорт, 1974.- С.95-101.

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

3. R.Barron. Consolidation of fine grained soils by drain wells// Trans. Am. Soc. Civ. Engrs, vol 113, 1948.