

## ОСАДКА НАСЫПИ НА БОЛОТЕ

Материал излагается по учебному пособию Жуков В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000. 95 с.

### 1 Критерий устойчивости

В соответствии с [1] три вида болот. *Болото типа I* – болото, заполненное болотными грунтами, прочность которых в природном состоянии обеспечивает возможность возведения насыпи высотой до 3 м без возникновения процесса бокового выдавливания слабого грунта. *Болото типа II* – болото, содержащее в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который может выдавливаться при некоторой интенсивности возведения насыпи высотой до 3 м, но не выдавливается при меньшей интенсивности возведения насыпи. *Болото типа III* – болото, содержащее в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который при возведении насыпи высотой до 3 м выдавливается независимо от интенсивности возведения насыпи.

В рассматриваемой задаче необходимо обеспечить:

- *устойчивость основания*, т.е. исключить боковое выдавливание слабого грунта из-под насыпи;

- *стабильность основания*, т.е. интенсивная часть осадки (90% консолидации) должна завершиться до устройства покрытия (за исключением сборных покрытий), чтобы упругие колебания земляного полотна при движении транспортных средств не превышали значений, допускаемых для данного типа покрытий (2 см – для цементобетонных, 4 см – для асфальтобетонных, 6 см – для дорожных одежд переходного типа).

Эти требования проверяют расчётами.

Устойчивость основания оценивается через коэффициент безопасности, определяемый по формуле

$$K_{\text{без}} \geq 1, \quad (1)$$

где

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{расч}}}, \quad (2)$$

$P_{\text{без}}$  – безопасная нагрузка на основание,  $P_{\text{расч}}$  – расчётная нагрузка на основание. Если условие (1) выполнено, то устойчивость основания обеспечена.

## 2 Определение безопасной нагрузки

Введём систему координат, как показано на рис. 1.

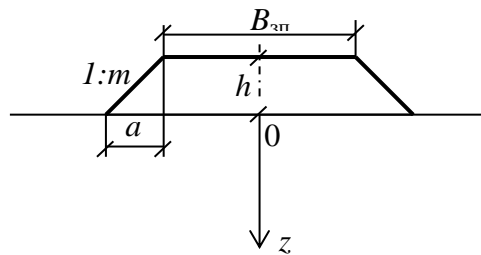


Рисунок 1 – Схема к определению расчётного горизонта

Безопасную нагрузку определяют по формуле, МПа:

$$P_{\text{без}} = 0,001 \cdot \left[ \frac{c + \gamma_{\text{т}} \cdot z \cdot \text{tg} \varphi}{\beta} \right]_{\text{min}} + q, \quad (3)$$

где  $c$  – сцепление торфа на расчётном горизонте  $z$ , кПа;  $\varphi$  – угол внутреннего трения торфа на расчётном горизонте  $z$ , °;  $\gamma_{\text{т}}$  – удельный вес торфа<sup>1</sup>, кН/м<sup>3</sup>;  $\beta$  – функция глубины расположения расчётного горизонта  $z$ , геометрических параметров насыпи и расчётного угла внутреннего трения грунта основания.

При известном отношении геометрических параметров насыпи  $\frac{2a}{B_{\text{зп}}} < 3$

(наиболее часто встречающемся) функция  $\beta$  может быть задана зависимостью

$$\beta = 0,310 - 0,09 \frac{2a}{B} - 0,006\varphi, \quad (4)$$

где  $a$  – проекция откоса насыпи на горизонтальную плоскость, м,

$$a = m \cdot h, \quad (5)$$

$m$  – заложение откоса,  $h$  – высота насыпи, м;  $B$  – ширина земляного полотна, м;  $q$  – расчётная нагрузка на толщу болота от пригрузочных призм при их наличии, МПа. Если высота насыпи менее 2,5-3,5 м, то функция имеет вид

$$\beta = 0,31 - 0,006\varphi. \quad (6)$$

Знак «min» в формуле (3) означает, что должен быть найден такой горизонт  $z$ , для которого отношение, стоящее в скобках, имеет минимальное значение.

<sup>1</sup> Если  $\gamma_{\text{т}}$  дано в г/см<sup>3</sup>, то значение  $z$  необходимо перевести в см и умножить на 10, а единицу измерения сцепления грунта – в кПа:  $[\gamma_{\text{т}} \cdot z \cdot \text{tg} \varphi] = [\gamma_{\text{т}}] \cdot [z] = \text{г/см}^3 \cdot \text{см} \cdot 10 = 10 \text{ г/см}^2 = 1 \text{ кПа}$ . См. приложение.

### 3 Нахождение расчётной нагрузки

При расчёте осадки насыпи учитывают временную нагрузку от подвижного транспорта в соответствии с [2]. Она включает в себя равномерно распределённую нагрузку  $q$  и одну двухосную тележку с нагрузкой на ось  $10K$  (рис. 3). В расчётах осадки насыпи равномерно распределённую составляющую нагрузки при этом не учитывают. Нагрузку от тележки приводят к эквивалентной равномерно распределённой нагрузке  $P_{AK}$  интенсивностью, МПа:

$$P_{AK} = 0,001 \frac{7,4n}{B_{3П}} K, \quad (3)$$

где  $n$  – число полос движения;  $B_{3П}$  – ширина земляного полотна, м;  $K$  – класс нагрузки АК. Для автомобильных дорог с капитальными дорожными одеждами (обычно это дороги I и II категории) –  $K = 11,5$ ; с облегченными и переходного типа дорожными одеждами (дороги III-V категорий) –  $K = 10$ .

Эквивалентную равномерно распределённую нагрузку  $P_{AK}$  следует располагать по всей ширине земляного полотна. Вдоль земляного полотна эквивалентная равномерно распределённая нагрузка располагается на неограниченную длину [2].

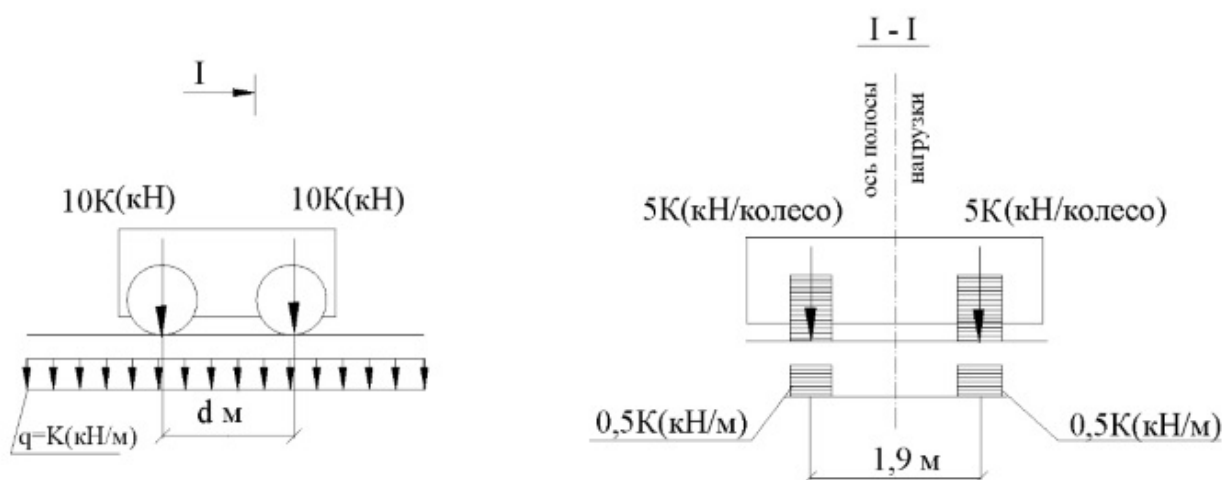


Рисунок 2 – Нормативная нагрузка от автомобилей АК

Порядок расчёта следующий.

1 Задают высоту насыпи  $h$ .

2 Определяют давление на торф от собственного веса насыпи в МПа:

$$P_{нас} = 0,001 \gamma_{гр} h. \quad (8)$$

3 Находят давление от подвижного транспорта в МПа по формуле (3).

4 Вычисляют суммарное давление от веса насыпи и подвижной нагрузки

$$P = P_{AK} + P_{нас}. \quad (9)$$

5 Учитывают дополнительное давление от веса грунта, погруженного в торфяной массив насыпи, МПа:

$$P_{oc} = 0,001\gamma_1 S, \quad (10)$$

где  $\gamma_1$  – удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ , уменьшенный за счёт объемной силы воды в торфе,  $S$  – величина осадки, м, происходящей в результате уплотнения торфа. Удельный вес грунта определяют следующим образом

$$\gamma_1 = (1 - n_{гр})(\gamma_{гр} - \gamma_в), \quad (11)$$

где  $\gamma_в$  – удельный вес воды, равный  $10 \text{ кН/м}^3$ ;  $n_{гр}$  – пористость грунта насыпи, связанная с коэффициентом пористости зависимостью

$$n_{гр} = \frac{e_{нас}}{e_{нас} + 1}. \quad (12)$$

Осадку определяют по зависимости

$$S = H \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_p}{\varepsilon_0 + 1}, \quad (13)$$

где  $H$  – мощность торфяной залежи, м;  $\varepsilon_0$  – коэффициент пористости торфяного грунта в естественном состоянии;  $\varepsilon_p$  – коэффициент пористости торфяного грунта при нагрузке  $P$ ; определяемый по упрощённому компрессионному уравнению Н.Н. Иванова<sup>2</sup>

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 - z_t \cdot \ln(10P), \quad (14)$$

где  $z_t$  – постоянный коэффициент, зависящий от вида торфа (коэффициент сжимаемости или компрессии);  $\varepsilon_1$  – коэффициент пористости торфяного грунта при давлении  $P=0,1$  МПа. Значения  $z_t$  приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики торфа

Вид торфа	$z_t$	$\varepsilon_1$	$C$ , кПа	$\varphi$ , °
Травяно-осоковый	0,8	3,18	32	15
Осоково-тростниковый	1,2	6,9	29	25
Тростниково-лесной	2,0	5,36	78	14

Если торфяная залежь представлена несколькими слоями, то коэффициенты  $\varepsilon_p$  и величину осадки определяют для каждого слоя. Для трёх слоев болотной залежи суммарная осадка составит

$$S = S_1 + S_2 + S_3. \quad (15)$$

Расчёт ведут в табличной форме, см. табл. 2.

<sup>2</sup> Логарифмическое очертание компрессионной кривой бывает только при значительных изменениях давлений или при сильно сжимаемых грунтах (торфянистых, насыпных и т. п.). В практических расчетах изменение давления на грунт происходит в небольшом интервале (0,1-0,3 МПа), редко достигая 0,4-0,5 МПа. Это дает основание участок компрессионной кривой (в пределах указанных изменений давлений) принять за прямую, при этом точность расчётов почти не пострадает.

Таблица 2 – Расчётная таблица

Участок трассы	$\Delta H$ , м	$P$ , МПа	$z_T$	$\varepsilon_0$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_p$	$S_i$ , м	$S$ , м
ПК								

6 Находят расчётное давление

$$P_{\text{расч}} = P + P_{\text{ос}} . \quad (16)$$

7 Для расчётного давления повторяют вышеприведённый расчет осадки насыпи, т.е. вновь вычисляют  $\varepsilon_p$  и  $S_i$  и результаты приводят в таблицу.

8 Проверяют условие (1). Если оно не выполняется, то необходимо изменить характеристики грунта путём его замены или перепроектировать трассу дороги, изменив тем самым мощность торфяной залежи.

#### 4 Определение продолжительности осадки насыпи на болоте

**Оценка времени, необходимого для достижения 90-процентной консолидации торфяного основания.** Пусть задан трёхслойный массив торфяной залежи.

1 Находят осредненный по слоям болота коэффициент пористости

$$\varepsilon_{\text{о,ср}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{\frac{H_1}{1 + \varepsilon_{0,1}} + \frac{H_2}{1 + \varepsilon_{0,2}} + \frac{H_3}{1 + \varepsilon_{0,3}}} , \quad (17)$$

где  $H_1, H_2, H_3$  – толщины соответствующих слоёв болота;  $\varepsilon_{0,1}, \varepsilon_{0,2}, \varepsilon_{0,3}$  – коэффициенты пористости слоёв грунтов болота в естественном состоянии.

2 Вычисляют коэффициент сжимаемости для каждого слоя болота ( $i=1,2,3$ ).

$$\alpha_i = \frac{\varepsilon_{0,i} - \varepsilon_{p,i}}{P_{\text{расч}}} . \quad (18)$$

Расчёт ведут по самому опасному поперечному сечению.

3 Определяют осреднённый по слоям болота коэффициент сжимаемости

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{1 + \varepsilon_{\text{о,ср}}}{H} \cdot \left( \frac{\alpha_1 \cdot H_1}{1 + \varepsilon_{0,1}} + \frac{\alpha_2 \cdot H_2}{1 + \varepsilon_{0,2}} + \frac{\alpha_3 \cdot H_3}{1 + \varepsilon_{0,3}} \right) , \quad (19)$$

где  $H=H_1+H_2+H_3$ . Если торфяная залежь однослойная, то  $\alpha_{\text{ср}} = \alpha_1$ .

4 Находят осреднённый по слоям болота коэффициент вертикальной фильтрации

$$K_{\text{вер}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{\frac{H_1}{K_{\text{в1}}} + \frac{H_2}{K_{\text{в2}}} + \frac{H_3}{K_{\text{в3}}}}, \quad (20)$$

где  $K_{\text{в1}}$ ,  $K_{\text{в2}}$ ,  $K_{\text{в3}}$  – коэффициенты вертикальной фильтрации для каждого слоя торфа.

5 Вычисляют коэффициент вертикальной консолидации<sup>3</sup>  $C_{\text{в}}$ , [м<sup>2</sup>/сут]<sup>4</sup>.

$$C_{\text{в}} = \frac{8,64K_{\text{вер}}(1 + \varepsilon_{0,\text{ср}})}{\alpha_{\text{ср}}\rho}, \quad (21)$$

где  $\rho$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>, равная 1.

6 Определяют время, необходимое для достижения 90% степени консолидации

$$t_{90} = T \frac{H^2}{C_{\text{в}}}, \quad (22)$$

где  $T$  – фактор времени, соответствующий 90% степени консолидации, и равный 0,85. Например, если мощность торфяной залежи  $H = 7,1$  м и  $C_{\text{в}} = 0,049$  м<sup>2</sup>/сут, то

$$t_{90} = 0,85 \frac{7,1^2}{0,049} = 877 \text{ сут},$$

то есть 90-процентная консолидация произойдет через 29,3 месяца. Следовательно, дорожная одежда может быть устроена лишь по истечении 2,5 лет. Значит, необходимо предусмотреть варианты земляного полотна с ускоренной осадкой. Такими вариантами являются вертикальные дрены, дренажные прорезы, временная пригрузка.

На практике часто возникает необходимость определения осадки насыпи при частичном выторфовывании и на торфяном основании с вертикальными дренами.

**Определение осадки насыпи при частичном выторфовывании.** Её ведут в следующей последовательности.

Вычисляют мощность оставляемого слоя торфа

<sup>3</sup> *Консолидация грунта* – замедленное уплотнение водонасыщенного грунтового слоя во времени, происходящее за счёт выжимания воды и сближения грунтовых частиц.

<sup>4</sup> Если коэффициент фильтрации измеряется в см/ч, то необходимо толщину болота перевести в сантиметры. А чтобы полученное значение времени достижения 90% степени консолидации перевести в сутки, необходимо его разделить на 24.

$$H_{\text{ост}} = \sqrt{\frac{C_B t}{0,85}}, \quad (23)$$

где  $t$  – время с момента приложения нагрузки до прекращения интенсивных деформаций, сут (величина  $t$  ограничивается 6 месяцами. Обычно принимают  $t = 2 - 3$  месяца).

Осадка насыпи

$$S = \frac{H_{\text{ост}} \alpha_{\text{ср,ост}} \lg P}{1 + \varepsilon_{0,\text{ост}}}, \quad (24)$$

где  $P$  – общее давление от нагрузки и собственного веса насыпи;  $\varepsilon_{0,\text{ост}}$  – осреднённый по оставшимся слоям болота коэффициент пористости торфяного грунта в естественном состоянии,  $\alpha_{\text{ср,ост}}$  – осреднённый коэффициент компрессии для оставшихся слоёв торфа, принимаемый по табл. 3.

Таблица 3 – Осреднённые значения коэффициента пористости

Степень разложения торфа, %	$\varepsilon_{0,\text{ост}}$ для торфа			
	древесного	древесно-травяного	травяного	мохового
0 – 10	–	–	–	8,0
10 – 25	2,8	3,2	4,0	6,0
25 – 40	1,6	2,4	3,6	5,2
40	1,2	1,5	2,5	2,9

**Определение осадки насыпи и времени консолидации на торфяном основании с вертикальными дренами.** Расчёты ведут в следующем порядке:

1 Ориентировочно назначают основные параметры земляного полотна: высоту насыпи, толщину дренирующего слоя, диаметр дрен, расстояние между дренами, порядок размещения дрен в плане.

2 Задают расчётный срок стабилизации осадки насыпи исходя из общего графика строительства.

3 Уточняют расчётом расстояние между дренами.

4 Определяют величину осадки насыпи.

5 Находят площадь сечения просевшей части и её объём.

$$F_{\text{п}} = 0,85BS, \quad (25)$$

где  $B$  – ширина насыпи по подошве, м;  $S$  – осадка насыпи по оси, м;

$$V_{\text{п}} = F_{\text{п}}L, \quad (26)$$

где  $L$  – длина участка дороги на болоте.

6 Подбирают материал для заполнения дрен, пользуясь зависимостью.

$$K_{\text{тр}} = 0,1S \frac{1}{d}, \quad (27)$$

где  $K_{\text{тр}}$  – требуемый коэффициент фильтрации для материала, заполняющего дрена;  $S$  – величина осадки, м;  $l$  и  $d$  – соответственно расстояние между дренами и диаметр дрен.

В практических расчётах принимают  $K_{\text{тр}} = 3 - 15$  м/сут.

Определение продолжительности осадки насыпи на торфяном основании разберём на примере.

**Пример 1.** Имеем следующие расчётные характеристики торфяного пласта в основании дорожной насыпи по слоям (см. табл. 4).

Высота насыпного слоя ( $H_{\text{н}} = 2,5$  м) назначена из условия предохранения дорожной одежды от значительных упругих просадок. Объёмный вес грунта насыпи в плотном состоянии  $\gamma_{\text{н}} = 20$  кН/м<sup>3</sup>. Удельная нагрузка насыпи на торфяное основание

$$P = \gamma_{\text{н}} H_{\text{н}} = 20 \cdot 2,5 = 50 \text{ кПа} = 0,05 \text{ МПа} .$$

Учитывая, что  $P = 0,05$  МПа, коэффициент пористости торфа после окончания консолидации основания  $\varepsilon_p$  определён по компрессионным испытаниям при нагрузке  $P = 0,05$  МПа. Объёмный вес торфа близок к единице, поэтому давлением вышележащих пластов ни нижележащие можно пренебречь.

Таблица 4 – Расчётные характеристики торфяного пласта по слоям

Характеристика торфяного пласта	Обозначение	Единица измерения	Значение	
			верхний слой (индекс 1)	нижний слой (индекс 2)
Тип торфа			1	1
Мощность	$H$	м	3,8	2,2
Коэффициент пористости в естественном состоянии	$\varepsilon_0$		8,33	7,22
Коэффициент пористости после уплотнения	$\varepsilon_p$		6,15	4,64
Коэффициент консолидации	$C$	м <sup>2</sup> /сут	0,0106	0,0072
Объёмный вес торфа	$\gamma$	кН/м <sup>3</sup>	10,2	11,0

Для обоснования необходимости устройства вертикальных дрен определяют продолжительность осадки насыпи, отсыпаемой на торфяной пласт. Сначала находят среднее значение коэффициента консолидации:



$$C_{\text{cp}} = \frac{C_1 H_1 + C_2 H_2}{H_1 + H_2} = \frac{0,0106 \cdot 3,8 + 0,0072 \cdot 2,2}{3,8 + 2,2} = 0,0094 \text{ м}^2 / \text{сут}.$$

По формуле (22) вычисляют продолжительность осадки насыпи

$$t_{90} = \frac{0,85 H^2}{C_{\text{cp}}} = \frac{0,85 \cdot 6^2}{0,0094} = 3255 \text{ сут} = 8,9 \text{ лет}.$$

В случае, если  $C_1$  и  $C_2$  неизвестны, средний коэффициент консолидации определяют по формуле (21).

Из расчёта видно, что 90-процентная консолидация основания плавающей насыпи будет достигнута только через 8,9 лет после возведения. Для того, чтобы обеспечить устройство одежды в тот год, в котором построено земляное полотно, срок консолидации не должен превышать 6 месяцев (180 сут). Следовательно, необходимо ускорение консолидации посредством устройства вертикальных дрен.

Расстояние между дренами определяют в первую очередь из условия соблюдения заданного срока консолидации основания. Диаметр дрен назначают с учётом имеющегося оборудования. Расстояние между дренами из условия заданного срока консолидации определяют, используя графический способ.

Решение задачи подбора расстояния между дренами ведут способом последовательных приближений. Расстояние между дренами предварительно намечают произвольно (начиная с интервала 2 – 3 м). Задаём расстояние  $l = 2,35$  м. Диаметр дрен  $d = 0,35$  м. Отношение расстояния между дренами к диаметру

$$n = \frac{l}{d} = \frac{2,35}{0,35} = 6,7.$$

Фактор времени

$$T_r = \frac{C_{\text{cp}} t}{l^2} = \frac{0,0094 \cdot 180}{2,35^2} = 0,306,$$

где  $t = 180$  сут – требуемый срок консолидации.

При данном значении  $T_r$  для  $n = 6,7$  в соответствии с графиком (рис. 3) величина консолидации  $U_r = 87$  %. Одновременно с уходом воды через дренаы происходит и фильтрация к поверхности слоя, которая также влияет на скорость консолидации

При данном значении  $T_r$  для  $n = 6,7$  в соответствии с графиком (рис. 3) величина консолидации  $U_r = 87$  %. Одновременно с уходом воды через дренаы

происходит и фильтрация к поверхности слоя, которая также влияет на скорость консолидации.

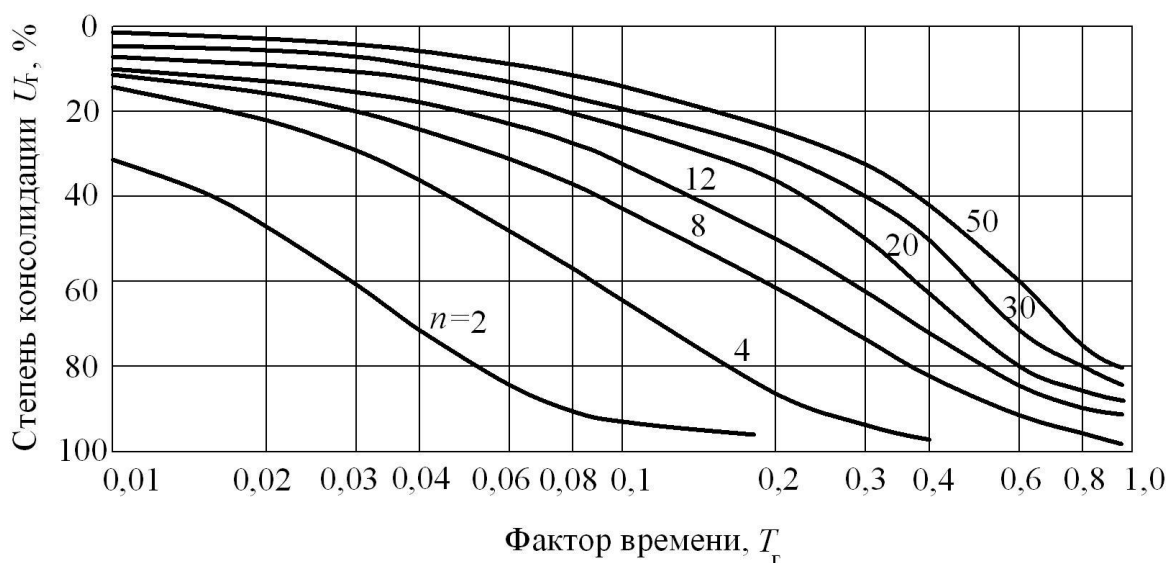


Рисунок 3 - Зависимость степени консолидации от фактора времени при различных значениях  $n$

По графику (рис. 4) определяют степень консолидации, которая будет достигнута за время  $t = 180$  сут, только при вертикальной фильтрации. Фактор времени

$$T_v = \frac{C_{\text{ф}} t}{(H_1 + H_2)^2} = \frac{0,0094 \cdot 180}{6^2} = 0,047.$$

Это соответствует степени консолидации  $U_v = 24\%$ . Общая степень консолидации

$$\begin{aligned} U_{\text{общ}} &= 100 - 0,01(100 - U_v)(100 - U_T) = \\ &= 100 - 0,01(100 - 24)(100 - 87) = 90 \%. \end{aligned}$$

Следовательно, при расстоянии между дренами  $l = 2,35$  м за заданный срок (180 суток) будет достигнута требуемая консолидация основания – 90%. Обычно расчёт приходится повторять несколько раз, так как редко сразу удастся правильно назначить расстояние между дренами.

Расчёт основания с дренами включает и определение величины осадки. В нашем примере торфяная залежь состоит из двух слоёв торфа с различными характеристиками сжимаемости, поэтому осадку следует определять отдельно для каждого слоя. Осадку насыпи с вертикальными дренами находят по формуле

$$S = H_T \left( \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_p}{\varepsilon_0 + 1} - \frac{d^2}{l^2} \right), \quad (28)$$

где  $H_T$  – мощность торфяной залежи, м;  $\varepsilon_0$  – коэффициент пористости до уплотнения;  $\varepsilon_p$  – коэффициент пористости после уплотнения расчётной нагрузкой от насыпи  $P$ .

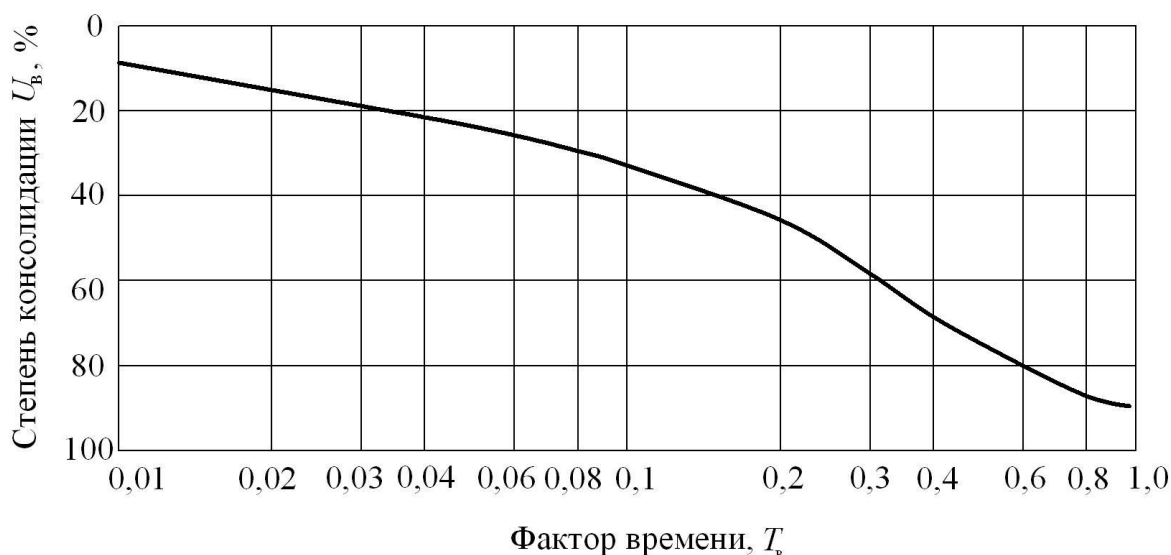


Рисунок 4 - Зависимость степени консолидации от фактора времени при вертикальной консолидации

Коэффициент  $\varepsilon_p$  при отсутствии компрессионных испытаний под нагрузкой  $P$  определяют по формуле (14). В нашем примере  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_p$  получены в результате статистической обработки данных полевых изысканий и лабораторных испытаний.

Для верхнего слоя осадка

$$S_1 = 3,8 \left( \frac{8,33 - 6,15}{8,33 + 1} - \frac{0,35^2}{2,35^2} \right) = 0,80 \text{ м};$$

для нижнего слоя

$$S_2 = 2,2 \left( \frac{7,32 - 4,64}{7,32 + 1} - \frac{0,35^2}{2,35^2} \right) = 0,66 \text{ м}.$$

Суммарная осадка торфяной залежи в осевом сечении земляного полотна

$$S = 0,80 + 0,66 = 1,46 \text{ м}.$$

Площадь поперечного сечения просевшей части насыпи с круглыми дренами определяют по формуле (25). В нашем примере при ширине земляно-

го полотна 12 м; высоте насыпи 2,5 м и крутизне откосов 1:1,15 ширина насыпи по подошве  $B = 12 + 2 \cdot 1,5 \cdot 2,5 = 19,5$  м. Тогда

$F_{\text{п}} = 0,85 \cdot 19,5 \cdot 1,46 = 24,2 \text{ м}^2$ . Объём просевшей насыпи, вычисляемый по формуле (26),  $V_{\text{п}} = 24,2 \cdot 1000 = 24200 \text{ м}^3$ .

### Источники информации

1. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. 139 с.
2. ГОСТ Р 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 6 с.
3. Жуков В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГА-СА, 2000. 95 с.

### Приложение

#### Связь между единицами измерения напряжений в системах СИ и СГС

Некоторые формулы для перевода величин приведены ниже.

$$1 \text{ т/м}^2 = 0,1 \text{ кг/см}^2 = 100 \text{ г/см}^2 = 0,01 \text{ МПа} = 10 \text{ кПа};$$

$$1 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ т/м}^2 = 1000 \text{ г/см}^2 = 100 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа};$$

$$1 \text{ г/см}^2 = 0,001 \text{ кг/см}^2 = 0,01 \text{ т/м}^2 = 10^{-4} \text{ МПа} = 0,1 \text{ кПа};$$

$$1 \text{ Н} = 0,1 \text{ кгс}; 1 \text{ т} = 10 \text{ кН}.$$