

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Строительный факультет

Кафедра строительных технологий, геотехники и экономики строительства

УТВЕРЖДЕН
на заседании кафедры
строительных технологий, геотехники и
экономики строительства
«30» августа 2017 г.,
протокол №1
Заведующий кафедрой
Н.С.Соколов_
«30» августа 2017 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

**«МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ
ГРУНТОВ»**

Направление подготовки 08.03.01 – «Строительство»

Квалификация (степень) выпускника – «Бакалавр»

Направленность (профиль) Автомобильные дороги

Чебоксары - 2017

Методические материалы разработаны на основе рабочей программы дисциплины, предусмотренной образовательной программой высшего образования (ОП ВО) по направлению подготовки 08.03.01 – «Строительство» направленность (профиль) автомобильные дороги

СОСТАВИТЕЛИ:

Доцент кафедры строительных технологий,
геотехники и экономики строительства _____ С.М.Ушков

СОГЛАСОВАНО:

Методическая комиссия строительного факультета «30» августа 2017 г., протокол №1.

Декан факультета _____ А.Н. Плотников

Введение.

Строительство автомобильных дорог в восточных районах Российской Федерации осуществляется зачастую на слабых грунтах.

Обычно в основу проектного решения на участках со слабыми грунтами может быть положено два решения:

- а) удаление слабого грунта;
- б) использование слабого грунта в качестве основания насыпи с применением мероприятий, обеспечивающих прочность и устойчивость основания.

Конкретное проектное решение выбирается на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом:

- а) категории автомобильной дороги и типа дорожной одежды;
- б) требуемой высоты насыпи;
- в) протяженности участка со слабыми грунтами;
- г) инженерно-геологических условий залегания слабых грунтов;
- д) условий производства работ.

В данном учебном пособии приведены расчеты по определению устойчивости основания насыпи, прогнозу конечной осадки и ее протекание во времени, а также возведение насыпи с вертикальными дренами.

1. Классификация слабых грунтов.

В зависимости от состава, фашиально-генетических и петрографических особенностей слабые грунты следует подразделять на:

- группы по содержанию органических веществ;
- виды по генетико-фашиальным и петрографическим особенностям;
- подвиды по особенностям состава;
- разновидности по особенностям состояния (плотности и влажности).

Отраслевая классификация слабых грунтов для целей дорожного строительства приведена в табл. 1.1.

Общая классификация слабых грунтов

Таблица 1.1

Группа по содержанию органических веществ	Вид по генетико-фашиальным и петрографическим особенностям		Подвид по составу		Разновидность по состоянию	
	Наименование	Определяющий знак	Наименование	Определяющий знак	Наименование	Определяющий знак (влажность, W , % или показатель текучести I_L)
1	2	3	4	5	6	7
Органические ($P > 60\%$)	Торф малозольный	$P \geq 95\%$	Волокнистый	$\Phi > 75\%$	Сухой Мало-влажный Средней влажности Избыточно влажный	$W < 300\%$ 300-600% 600-900% 1200-2500%

--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	
	Торф средней зональности Торф высокозольный	95% > $I \geq 8$ 0% 80% > $I > 6$ 0%	Мало-волокнистый Неволокнистый	75% > $\Phi \geq 6$ 0% $\Phi < 60\%$		Средней влажности Очень влажный Избыточно влажный	200-500% 500-1000% $W > 1000\%$
Органо-минеральные (10% ≤ I ≤ 60%)	Органо-минеральный сапропель	60% > $I > 1$ 0%	-	-	Мало-влажный Средней влажности Очень влажный Избыточно влажный	$W < 150\%$ 150-400% 400-900% $W > 900\%$	
	Болотный мергель	10% ≤ $I < 6$ 0% $CaCO_3 > 2$ 5%	-	-	Мало-влажный Средней влажности Очень влажный	$W < 150\%$ 100-300% $W > 300\%$	
	Торфянистые грунты	30% < $I < 6$ 0%	Супесь	1 ≤ $I_p < 7$	А	0,5 < $I_L < 0,75$	
	Сильно заторфованный		20% < $I < 3$ 0%	Суглинок	7-17	Б В	0,75-1,0 1,0-1,5
				Тощая глина	17-27	Г	1,5-2,0
Заторфованный		10% < $I \leq 2$ 0%	Жирная глина	> 27	Д Е Ж	2,0-2,5 2,5-3,0 3,0-3,5	
Минеральные ($I \leq 10\%$)	Ил морской Ил озерный Ил аллювиальный	- - Комплексо-генетических и петрографических характеристик ($I < 10\%$)	- - Супесь	- - 0,5 < $I_L < 0,75$	А Б В	0,5 < $I_L < 0,75$ 0,75-1,0 1,0-1,5	
	Мокрый солончак	-	Суглинок	7,0-17	Г Д	1,5-2,0 2,0-2,5	

					Е	2,5-3,0
	Переувлажненный глинистый грунт	-	Глина	>17	Ж	3,0-3,5
	Иольдиевая глина	-	-	-	А Б В	$W_{отн} < 1,0$ $1,0 \leq W_{отн} < 1,5$ $1,5 \leq W_{отн} < 2,5$

2. Характеристики грунтов слабого основания.

Основными характеристиками слабых грунтов являются показатели сжимаемости, уплотняемости грунтов во времени и прочности. Характеристики сжимаемости слабых грунтов в лабораторных условиях определяют по результатам испытаний образцов с ненарушенной структурой в компрессионных приборах.

Экспериментально определяется зависимость между приложенной нагрузкой P_i и коэффициентом пористости грунта (ϵ), а также относительной деформацией (λ), модулем осадки (e) или деформации (E).

Модуль общей деформации грунта связан с нагрузкой функциональной зависимостью:

$$E_{pi} = \frac{P_i}{\lambda_i}, \quad (2.1)$$

где P_i – сжимающая нагрузка; λ_i – относительная деформация при этой нагрузке.

Относительная деформация, выраженная в промиллях, называется модулем осадки (e_{pi})

$$e_{pi} = \frac{\Delta h_i}{h} \times 1000, \text{ мм/м} \quad (2.2)$$

где Δh_i – деформация образца; h – начальная высота.

В качестве критерия создания условий, при которых может начаться механическое отжатие поровой воды, для торфяных и полностью водонасыщенных глинистых грунтов может служить начальный градиент фильтрационной консолидации ($i_{н.ф.к}$).

Метод определения нагрузки (P_ϕ), при которой обеспечивается возникновение $i_{н.ф.к}$, заключается в проведении консолидационных испытаний идентичных образцов с различными условиями дренирования под разными уплотняющими нагрузками. Нагрузка (P_ϕ), начиная с которой кривые консолидации образцов вида $\lambda = f(lgt)$ с разными путями фильтрации расходятся.

Для органических и органоминеральных грунтов, неволокнистых и маловолокнистых, выше средней влажности характерна кривая консолидации вида $\lambda = f(lgt)$, состоящих из двух участков, отражающих первичную фильтрационную консолидацию и консолидацию объемной ползучести.

Для органических и органоминеральных грунтов, неволокнистых и маловолокнистых, сухих и маловлажных, полностью водонасыщенных характерна кривая консолидации, состоящая из трех участков, отражающих первичную и вторичную фильтрационную консолидацию ползучести. При неполном водонасыщении грунта – из четырех участков.

Для органических и органоминеральных грунтов, волокнистых при любой степени водонасыщения, характерна кривая консолидации, состоящая из трех участков, отражающих дофильтрационную консолидацию, фильтрационную консолидацию и консолидацию объемной ползучести.

Для минеральных грунтов текучей и текучепластичной консистенции характерна кривая консолидации, состоящая из трех участков, отражающих первичную и вторичную фильтрационную консолидацию и консолидацию объемной ползучести.

Для минеральных грунтов мягкопластичной консистенции характерна кривая консолидации, состоящая из двух участков, отражающих вторичную фильтрационную консолидацию и консолидацию объемной ползучести.

На первом этапе консолидации консолидационным параметром является угловой коэффициент первого прямолинейного участка в логарифмическом цикле к оси времени (m_1). На втором этапе консолидации консолидационными параметрами являются коэффициент консолидации (C_{2u}) или консолидационный параметр (b_λ), определяющий условия перехода от данных лабораторных испытаний к натуре. На третьем этапе консолидации консолидационным параметром является коэффициент консолидации (C_{3u}) или показатель степени консолидации. На четвертом этапе консолидации консолидационным параметром является угловой коэффициент последнего прямолинейного участка в логарифмическом цикле к оси времени (m_4).

Основной особенностью работы слабого грунта на сдвиг в основании насыпи является их работа в течение длительного времени в условиях незавершившейся консолидации.

Основное уравнение сопротивления грунта сдвигу в этом методе имеет вид трехчлена:

$$S_{pw} = p \times tg\varphi_w + c_c + \Sigma_w, \quad (2.3)$$

где φ_w – угол внутреннего трения грунта при влажности W в момент сдвига; c_c – структурно не восстанавливаемая часть общего сцепления; Σ_w – восстанавливаемая часть общего сцепления, обусловленная коллоидными связями, при влажности W в момент сдвига; p – нормальное напряжение при сдвиге.

Для практических целей при любых значениях c_c используют уравнение в виде двучлена

$$S_{pw} = p \times tg\varphi_w + c_w, \quad (2.4)$$

где c_w – общая (полная) величина структурного сцепления грунта при влажности грунта W .

3. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов основания.

Прогноз устойчивости и осадки слабого грунта в основании насыпи производится по величинам напряжений, возникающих в грунте от веса насыпи, собственного веса грунта и от подвижного состава транспорта.

Нормальные напряжения от веса грунта определяется по формуле:

$$\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y = \Sigma \gamma_{zpi} \times h_i, \quad (3.1)$$

где γ_{zpi} и h_i – удельный вес и мощность i -го слоя грунта.

Для расчета напряжения в точках от трапецидальной нагрузки применяется схема (рис.1.1).

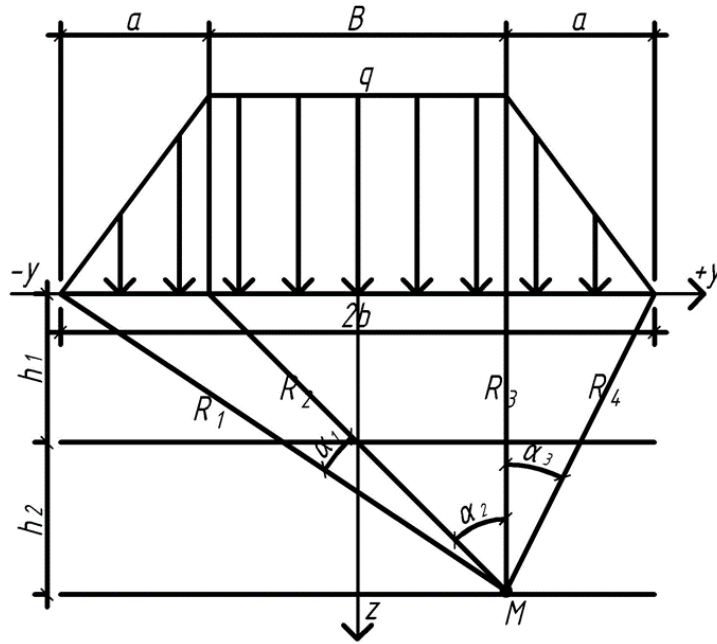


Рис.1.1 Расчетная схема для определения напряжений при трапецидальной нагрузке.

Главные нормальные и касательные напряжения определяются по формулам

$$\sigma_1 = \frac{P}{\pi a} = \left[a(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + \frac{B}{2}(\alpha_1 + \alpha_3) - y \left(\alpha_3 - \alpha_1 - Z \ln \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} + Z \sqrt{\ln^2 \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} + (\alpha_3 - \alpha_1)^2} \right) \right], \quad (1.1)$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{\pi a} = \left[a(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + \frac{B}{2}(\alpha_1 + \alpha_3) - y \left(\alpha_3 - \alpha_1 - Z \ln \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} - Z \sqrt{\ln^2 \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} + (\alpha_3 - \alpha_1)^2} \right) \right], \quad (1.2)$$

$$\tau_{max} = \frac{PZ}{\pi a} \sqrt{\ln^2 \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} + (\alpha_3 - \alpha_1)^2}, \quad (1.3)$$

где

$$R_1 = \sqrt{Z^2 + (b + y)^2}; \quad R_2 = \sqrt{Z^2 + \left(\frac{B}{2} + y\right)^2};$$

$$R_3 = \sqrt{Z^2 + \left(y - \frac{B}{2}\right)^2}; \quad R_4 = \sqrt{Z^2 + (b - y)^2}$$

Z – вертикальная ордината точки:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{Z}{R^2} - \arcsin \frac{Z}{R_1};$$

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{Z}{R_3};$$

$$\alpha_3 = \arcsin \frac{y - \frac{B}{2}}{R_3} + \arcsin \frac{\left(\frac{B}{2} + a\right) - y}{R_4}$$

y – горизонтальная ордината точки.

Для низких насыпей и пригрузочных ферм определение напряжений от действия полосовой равномерно распределенной нагрузки производится по формуле:

$$\sigma_z = k_1 p \quad (1.4)$$

где k_1 - коэффициент, принимаемый по табл.1.1 и зависящий от соотношений $\frac{z}{2b_{cp}}$ и $\frac{x}{2b_{cp}}$,

где $2b_{cp}$ - ширина трапецидальной эпюры нагрузки по средней линии.

Влияние подвижной нагрузки на уплотнение слабого грунта пренебрегается при высоте насыпи более 3 м.

Минимальная толщина насыпного слоя можно назначать по табл.3.1

Минимальная высота насыпи на торфяных грунтах в зависимости от типа дорожной одежды

Таблица 3.1

Мощность слабого слоя, м	Тип дорожной одежды		
	Капитальный	Облегченный	Переходный
1	2	1,5	1,2
2	2,5	2	1,5
4	3	2,5	2,0
6	3	3,0	2,5

Значение K_1 в случае действия равномерно распределенной нагрузки в условиях плоской задачи

Таблица 3.2

$\frac{z}{2b_{cp}}$	Значения $\frac{x}{2b_{cp}}$					
	0	0,25	0,5	1	1,5	2
	K_1					
1	2	3	4	5	6	7
0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,96	0,90	0,50	0,02	0,00	0,00
0,50	0,82	0,74	0,48	0,08	0,02	0,00
0,75	0,67	0,61	0,45	0,15	0,04	0,02
1,00	0,55	0,51	0,41	0,19	0,07	0,03
1,25	0,46	0,44	0,37	0,20	0,10	0,04
1,50	0,40	0,38	0,33	0,21	0,13	0,07
1,75	0,35	0,34	0,30	0,20	0,14	0,08
2,00	0,31	0,31	0,28	0,17	0,13	0,10
3,00	0,21	0,21	0,20	0,14	0,12	0,10
4,00	0,16	0,16	0,15	0,12	0,11	0,09
5,00	0,13	0,13	0,12	0,10	0,10	0,00
6,00	0,11	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00

4. Оценка устойчивости основания насыпи.

Оценка выполняется с целью определения возможности выпирания слабого грунта основания. Выделяют три типа оснований:

I – основания, не требующие специальные меры по обеспечению устойчивости;

II – основания, для обеспечения устойчивости их достаточно ограничить режим отсыпки насыпи;

III – основания, которые требуют разработать специальные мероприятия для обеспечения их устойчивости.

Слабые грунты под действием веса насыпи уплотняются и упрочняются. Это свойство присуще для оснований II типа. Поэтому оценка устойчивости грунтов основания выполняется для случаев:

а) для условий быстрой отсыпки насыпи, когда грунт основания не успевает консолидироваться и повысить свою прочность;

б) для условий медленной отсыпки, когда передача нагрузки происходит по мере возрастания прочности слабого грунта за счет его консолидации предыдущей ступенью отсыпки.

Начальная оценка устойчивости грунтов основания производят по величине напряжений и прочности грунта в точках. Для этого случая достаточно выполнение условия

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{расч}}} \geq 1, \quad (4.1)$$

где $K_{\text{без}}$ - коэффициент безопасности; $P_{\text{без}}$ – безопасная создания, при которой предельная внешняя нагрузка на основание вызывает создания предельного состояния по сдвигу; $P_{\text{расч}}$ - расчетная величина внешней нагрузки, определяемая для насыпи трапецидальной формы, рассчитываемая по формуле:

$$P_{\text{расч}} = \gamma_H (h_{\text{расч}} + S_{\text{кон}}), \quad (4.2)$$

где γ_H - удельный вес грунтов насыпи; $h_{\text{расч}}$ - расчетная высота насыпи;

$S_{\text{кон}}$ - конечная осадка насыпи.

Конечная осадка слабого основания в пределах активной зоны сжатия в условиях одномерной задачи методом послойного суммирования равна

$$S_k = 0,001 \times \sum_1^n e_{pzi} \times H_i, \quad (4.3)$$

где n – число слоев; H_i - мощность i -го слоя; e_{pzi} - модуль осадки i -го слоя, найденный на компрессионной кривой при нагрузке P_i , равной вертикальному нормальному напряжению для середины данного слоя от веса насыпи ($\sigma_{z,i}$).

Схема одномерного сжатия основания применима при соотношении $\frac{H}{b_{\text{ср}/2}} = 0,5 \div 1,5$,

где H – высота насыпи; $b_{\text{ср}}$ - ширина насыпи по средней линии.

При отсутствии компрессионных испытаний конечную осадку можно рассчитать по табличным значениям модуля деформации

$$S_k = \frac{P \cdot H}{E_{\text{ср}}}, \quad (4.4)$$

где P – нагрузка на поверхности толщи; H – мощность сжимаемой толщи; $E_{\text{ср}}$ – средневзвешанный штамповый модуль деформации сжимаемой толщи основания.

Если осадка слабого слоя превышает 50 см, то в расчете нагрузки от веса насыпи необходимо учитывать все просевшей части. Учет этой нагрузки производится графоаналитическим способ. Порядок расчета рекомендуется следующий:

а) задаются дополнительно двумя значениями от веса насыпи (1- половина от расчетной; 2 – расчетная; 3 – выше расчетной в 2 раза);

б) определяют компоненты нормальных напряжений для середины расчетных сечений;

в) находят модули осадки для принятых напряжений по компрессионным кривым;

- г) по формуле (3) рассчитывается осадка каждого слоя и суммарная в пределах активной зоны сжатия;
- д) строится график осадки слоев и суммарная в форме $S = f(P)$;
- е) рассчитывается нагрузка в зависимости от осадки слабого слоя на его поверхности;

С

- ж) по результатам этого расчета на графике вида $S = f(P)$ строят прямую $P = f(S)$;
- з) по точке пересечения кривой общей осадки и построенной прямой определяют конечную осадку слабой толщи в пределах активной зоны и расчетную нагрузку.

Определение типа основания по результатам оценки устойчивости производится после определения коэффициента для условий быстрой отсыпки ($K_{без}^{нач}$) и для условий медленной отсыпки ($K_{без}^{кон}$).

Безопасная нагрузка для условий быстрой отсыпки вычисляется по формуле

$$P_{без}^{нач} = \left[\frac{c_{нач} + \gamma_{ср} \times Ztg\varphi_{нач}}{\beta} \right], \quad (4.5)$$

где $c_{нач}$ и $\varphi_{нач}$ – удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта слабой толщи природного сложения; $\gamma_{ср}$ – средний удельный вес грунта слабого основания; Z – расчетная ордината в слабом слое; β – табличный коэффициент, зависящий от $\varphi_{нач}$, формы эпюры нагрузки $\frac{2a}{B}$ и $\frac{Z}{b}$, приведенные в прил. 2.

Если $K_{без}^{нач} = \frac{P_{без}^{нач}}{P_{рас}} \geq 1$, то основание относят к I типу по устойчивости. Расчет заканчивается.

Если $K_{без}^{нач} < 1$, то для определения типа основания вычисляют безопасную нагрузку при медленной отсыпке по формуле

$$P_{без}^{кон} = \left[\frac{c' + \gamma_{ср} Ztg\varphi'}{\beta} \right], \quad (4.6)$$

где c' и φ' – удельное сцепление и угол внутреннего трения, полученные при консолидированном сдвиге; β – то же, что в формуле (4.5), но при значении φ' .

Если коэффициент $K_{без}^{кон} = \frac{P_{без}^{кон}}{P_{рас}} < 1$, то основания относят к III типу. Если соблюдаются условия $K_{без}^{нач} < 1$ и $K_{без}^{кон} > 1$, то основания относят к II типу.

Для оснований II и III типов рекомендуется проводить дополнительную количественную оценку устойчивости, используя метод круглоцилиндрической поверхности скольжения.

Типы оснований по коэффициенту безопасности приведены в табл. 4.1.

Типы основания по коэффициенту безопасности

Таблица 4.1

Тип основания	Определяющий признак	Характеристика степени устойчивости	Преобладающие деформации грунта наиболее опасного слоя	Возможность использования слабой толщи в качестве основания
1	2	3	4	5
I	$K_{без}^{нач} \geq 1$	Устойчивость обеспечена при любой скорости отсыпки	Сжатие	Можно использовать в качестве основания
II	$K_{без}^{нач} < 1$	Устойчивость при быстрой	При быстрой отсыпке – сдвиг	Можно использовать в

	$K_{\text{без}}^{\text{нач}} \geq 1$	отсыпке не обеспечена, но обеспечена при медленной отсыпке	(выдавливание) , при медленной отсыпке - сжатие	качестве основания при медленной отсыпке насыпи
III	$K_{\text{без}}^{\text{нач}} < 1$	Устойчивость не обеспечена ни при каких режимах отсыпки	Сдвиг (выдавливание)	Без конструктивных мероприятий в качестве основания использовать нельзя. Нужно удалить слабый слой или изменить конструкцию насыпи

Требуемый (допустимый) режим отсыпки при II типе основания устанавливается специальным расчетом.

При приближенном определении типа основания на основе табличных данных или данных полевых испытаний на первой стадии проектирования тип II делится на два подтипа II-A и II-B. К подтипу II-B основание следует относить при $0,2 \leq K_{\text{без}}^{\text{кон}} < 1$, а при $K_{\text{без}}^{\text{кон}} < 0,2$ основание следует относить к III типу. Основание подтипа II-B после уточнения расчета с использованием лабораторных данных по характеристикам сдвига и компрессии окончательно относят либо к типу II, либо к типу III.

Для глинистых грунтов с углом внутреннего трения $\varphi < 5-7^\circ$ для оценки устойчивости можно использовать упрощенные зависимости, полагая $\varphi = 0$.

В частности, ориентировочно устойчивость слабого основания, применительно ко всей толще основания в случае его однородного строения $\varphi = 0$, и равномерно распределенной нагрузки коэффициент безопасности может быть рассчитан по формуле

$$K_{\text{без}}^{\text{нач}} = \frac{c_{\text{нач}} \times \pi}{P_{\text{расч}}} \quad (4.7)$$

Количественными показателями и критериями устойчивости системы «основание-насыпь» при использовании в расчетах схемы круглоцилиндрических поверхностей скольжения служат, соответственно, коэффициент устойчивости ($K_{\text{уст}}$) и требуемый коэффициент устойчивости ($K_{\text{уст}}^{\text{тр}}$) для данного сооружения.

Требуемый коэффициент устойчивости следует определять по формуле

$$K_{\text{тр}} = \frac{K_{\text{н}} n_c n_0}{m_0} \quad (4.8)$$

где $K_{\text{н}}$ - коэффициент надежности по назначению сооружения (см. СНиП 2.02.01-83); n_c - коэффициент сочетания нагрузок ($n_c = 1,0 - 0,9$); n_0 - коэффициент перегрузки (для насыпей $n_0 = 1,2$); m_0 - коэффициент условий работы, учитывающий особенности расчетных схем и методов расчета, принимаемый равным при прогнозе на слабых основаниях – 0,85.

5. Прогноз конечной осадки основания насыпи.

Осадку основания обуславливает статическим уплотнением слабых грунтов.

Осадка грунтов слабого основания происходит годами. Поэтому при прогнозировании осадки выполняются следующие условия:

а) определение осадки на момент достижения ее конечной величины (конечная осадка);

б) определение времени завершения интенсивной осадки, т.е. установление требуемой степени консолидации.

Конечная осадка определяется методом послойного суммирования по формуле:

$$S_k = 0,001 \sum_1^n e_{pzi} \times H_i, \quad (5.1)$$

где n – число слоев; H_i – мощность i -го слоя; e_{pzi} – мощность осадки i -го слоя, найденный из компрессионных испытаний при нагрузке P_i , равный вертикальному напряжению в середине i -го слоя.

При отсутствии компрессионных испытаний для ориентировочных прогнозов конечная осадка определяется по формуле:

$$S = \frac{PH}{E_{cp}}, \quad (5.2)$$

где H – мощность сжимаемой толщи; P – нагрузка на поверхности слабой толщи; E_{cp} – средневзвешанный штамповый модуль деформации сжимаемой толщи.

Если конечная осадка превышает 50 см, то в расчете нагрузки от веса насыпи учитывается вес просевшей части. Пересчет при прогнозе конечной осадки методом суммирования производится графоаналитическим методом. Порядок расчета:

а) задаются двумя значениями нагрузки от веса насыпи (больше и меньше величины нагрузки от насыпи запроектированной высоты);

б) определяют компоненты нормальных напряжений для середины расчетных слоев;

в) находят по соответствующим компрессионным кривым модули осадки для полученных значений напряжений;

г) по указанной формуле рассчитывается осадка каждого слоя и суммарная в пределах активной зоны;

д) строят график осадки слоев и суммарной осадки в виде $S = f(P)$;

е) рассчитывают нагрузку в зависимости от осадки слабой толщи на ее поверхности. Задавшись несколькими значениями величины осадки (больше и меньше, полученной для насыпи проектной высоты);

ж) по результатам этого расчета на график $S = f(P)$ наносят прямую вида $P = f(S)$;

з) по точке пересечения кривой общей осадки и прямой определяют конечную осадку слабой толщи в пределах активной зоны и расчетную нагрузку, а по точке пересечения прямой с кривыми осадки отдельных слоев определяют частные осадки этих слоев.

6. Прогноз осадки слабого основания во времени.

Теория одномерной фильтрационной консолидации применяется в условиях:

а) при соотношении мощности слабого слоя к средней ширине насыпи по средней линии $\frac{H}{b_{cp}} > 0,5 \div 1,5$

б) при большей скорости отжатия поровой воды в вертикальном направлении чем в горизонтальном.

При выделении активной зоны сжатия руководствуются следующими принципами:

а) если слабая толща представлена несколькими слоями, то выбирают толщу, где путь фильтрации максимальный;

б) если нельзя выделить одного слоя, то в качестве расчетного слоя выбирается несколько слоев, где максимальный путь фильтрации в активной зоне.

При прогнозе осадки рассчитывается время, при котором завершается данная степень консолидации осадки.

Для участка дофильтрационной консолидации прогноз осадки выполняется по зависимости

$$T_{дфи} = \frac{0,02H_{\phi}^2}{C_{u=5\%}}, \quad (6.1)$$

где $T_{дфi}$ - время достижения заданной относительной деформации λ_i при расчетной нагрузке; H_ϕ - путь фильтрации в слое; $C_{u=5\%}$ - коэффициент консолидации при степени консолидации $U = 5\%$.

Прогноз осадки на участке первичной фильтрационной консолидации производит по формуле:

$$T_{u1} = \frac{N_{u1} \times H_\phi^2}{C_{u1}} + T_{дф}, \quad (6.2)$$

или $T_{u1} = b_{u1} \times H_\phi^2 + T_{дф}$

где T_{u1} - время достижения заданной степени консолидации U_1 ; N_u - табличный коэффициент, зависящий от степени консолидации (табл. 6.1); C_{u1} - коэффициент консолидации при степени фильтрации $U_1 = 50\%$; b_{u1} - консолидированный параметр по результатам испытаний.

Степень консолидации на участке первичной фильтрации вычисляется по формуле:

$$U_i = \frac{\lambda - (\lambda_{мгн} + \lambda_{дф})}{\lambda_{кон} - (\lambda_{мгн} + \lambda_{дф})}, \quad (6.3)$$

где $\lambda_{кон}$ - максимальная относительная деформация фильтрационной консолидации; $\lambda_{дф}$ - максимальная относительная деформация дофильтрационной консолидации.

На участке вторичной фильтрационной консолидации время определяется по формуле

$$T_{u2} = \left(t_{u2} - t_{дф} \left(\frac{H_\phi}{h_\phi} \right)^n \right), \quad (6.4)$$

где T_{u2} и t_{u2} - время завершения заданной степени консолидации соответственного слоя и образца; $t_{дф}$ - время завершения дофильтрационной консолидации в образце; h_ϕ - путь фильтрации в образце; n - показатель степени, изменяющийся от 0 до 2.

На участке консолидации объемной ползучести заданная степень может быть определен по формуле:

$$\lambda_{пi} = \lambda_\phi + mlg \frac{T}{T_\phi}, \quad (6.5)$$

где $\lambda_{пi}$, λ_ϕ - относительные деформации соответственно в момент окончания вторичной фильтрационной консолидации T_ϕ и на стадии ползучести T ; m - консолидационный параметр, определяемый из опыта.

Значение коэффициента N_u в зависимости от степени консолидации

Таблица 6.1

$U, \%$	20	30	40	50	60	70	80	85	90	95
N_u	0,03	0,07	0,12	0,20	0,29	0,40	0,57	0,69	0,85	1,13

7. Метод вертикального дренирования.

Вертикальные дрены устраивают в слабых водонасыщенных глинистых грунтах с целью ускорения консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации воды (рис. 7.1)

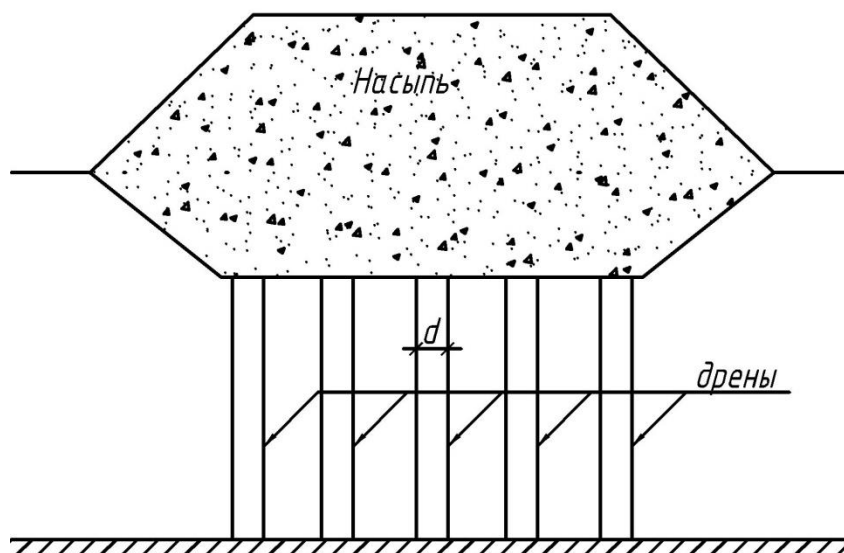


Рис. 7.1 Схема земляного полотна с вертикальными дренами.

Использование вертикальных дрен эффективно в водонасыщенных органических и минеральных сильносжимаемых грунтах с коэффициентами фильтрации $k_f = 10^{-4}$ м/сут.

Устраивать вертикальные дренажи в плотных глинистых грунтах и малоразложившемся неуплотненном торфе нецелесообразно. Эффективность вертикальных дрен повышается, когда в слабом слое высокая горизонтальная проницаемость грунтов.

Обычно вертикальные дренажи используют с временной пригрузкой слабого слоя. Толщина пригрузочного слоя (когда прочность основания обеспечена) определяется из условия создания напора воды, превышающего начальный градиент фильтрации грунта. Толщина пригрузочного слоя определяется по формуле

$$h_{пр} > \frac{0,5D\gamma_v I_0 - P_{расч}}{\gamma_{пр}}, \quad (7.1)$$

где D – эффективный диаметр дренирования, принимаемый равным расстоянию между дренажами; γ_v – удельный вес воды; I_0 – начальный градиент фильтрации, при отсутствии лабораторных данных принимаемый равным для торфа $I_0 = 2$, для ила и глины $I_0 = 5$; $P_{расч}$ – нагрузка на слабый слой от веса насыпи;

$\gamma_{пр}$ – удельный вес грунта пригрузки.

Дренажи представляют собою скважины диаметром 40-60 см, заполненные песком. Песок должен обладать коэффициентом фильтрации $k_f = 6$ м/сут. При добавке к материалу заполнения скважин 5-18% извести увеличивается дренируемость. Обычно на слабый слой укладывается грунт толщиной 0,5 м, обладающий коэффициентом фильтрации $k_f = 3$ м/сут.

В зависимости от водопроницаемости грунта расстояние между дренажами меняется в пределах 2÷4,5 м.

Проектирование земляного полотна вертикальными дренажами производится на основании следующих данных:

- а) результаты компрессионных и сдвиговых испытаний грунтов слабого слоя;
- б) консолидационные исследования слабого слоя с учетом условий односторонней и двусторонней фильтрации;
- в) расчетные величины нагрузки и конечной осадки слабого слоя.

Порядок расчета:

- 1) назначается диаметр и расстояние между дренажами;
- 2) определяется расчетная нагрузка на основание и конечная осадка слабого слоя ($P_{расч}$ и S_k);
- 3) определяется эффективный диаметр дрен по формуле

$$D=1,13l, \quad (7.2)$$

где l – расстояние между дренами.

- 4) рассчитывается сближение по формуле

$$n = \frac{D}{d}, \quad (7.3)$$

где d – диаметр скважин.

- 5) вычисляется степень консолидации при уплотнении расчетной нагрузкой;
 6) по результатам лабораторных испытаний на образцах высотой 2,5 см вычисляют коэффициент консолидации (C_u) для степени консолидации $U = 90\%$;
 7) рассчитывают фактор времени при горизонтальной фильтрации

$$T_r = \frac{C_u \times T}{l^2}, \quad (7.4)$$

где T – требуемый срок консолидации, равный 1 год;

l – расстояние между дренами.

- 8) рассчитывается фактор времени при вертикальной фильтрации по формуле

$$T_2 = \frac{C_u \times T}{H^2}, \quad (7.5)$$

где H – путь фильтрации.

- 9) на основании графиков лабораторных испытаний вычисляется степень консолидации по факторам времени для горизонтальной и вертикальной фильтрации (U_r и U_v);

- 10) вычисляется общую степень консолидации по формуле

$$U_{\text{общ}} = 100 - 0,01(100 - U_r)(100 - U_v), \quad (7.6)$$

Если вычисленная степень консолидации недостаточно для достижения 90% консолидации, то расчет повторяют, назначив новые значения диаметра скважин и расстояния между ними.

Упрощенные схемы вертикальных дренажей являются продольные дренажные разрезы. Они эффективны при мощности слабого слоя до 4 м и возможности сохранения вертикальных откосов в течении времени заполнения разрезов дренирующим грунтом.

Расстояние между дренажными разрезами обычно 1,5 ÷ 3 м. Ширина разрезы 0,6 ÷ 1,0 м и зависит от параметра рабочего органа оборудования.

Прорез заполняется песком с $k_{\phi} = 3 \text{ М/сут}$.

8. Примеры расчета по повышению несущей способности и стабилизации грунта.

Необходимо запроектировать автомобильную дорогу по трассе, проложенный через слабые илистые грунты. Мощность слабых грунтов 6 м (рис. 8.1).

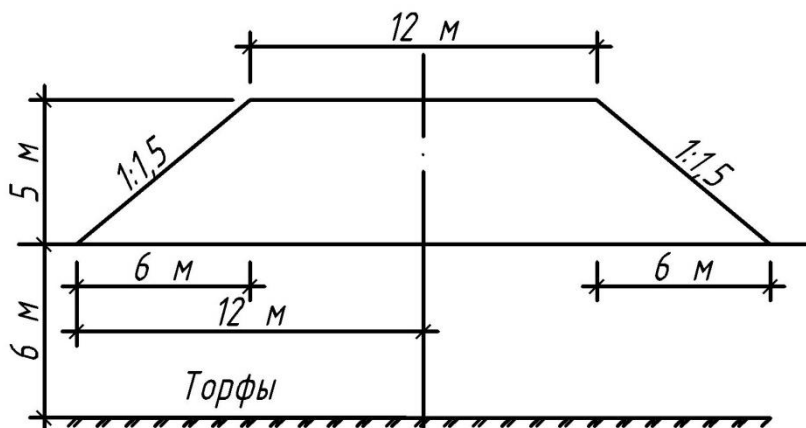


Рис. 8.1. Расчетная схема насыпи.

Горизонт грунтовых вод совпадает с отметкой природного рельефа. Слой ила подстилает суглинок полутвердой консистенции. Плотность грунтов в насыпи $2 \text{ т} / \text{м}^3$.

На основании результатов лабораторных испытаний ила построены компрессионные и сдвиговые кривые в зависимости от влажности (рис. 8.2, 8.3).

На рис. 8.4 представлены результаты компрессионных испытаний образцов ила при разных условиях дренирования.

На рис. 8.5 и 8.6 представлены результаты лабораторных испытаний на образцах высотой 2,5 см при односторонней и двухсторонней фильтрациях.

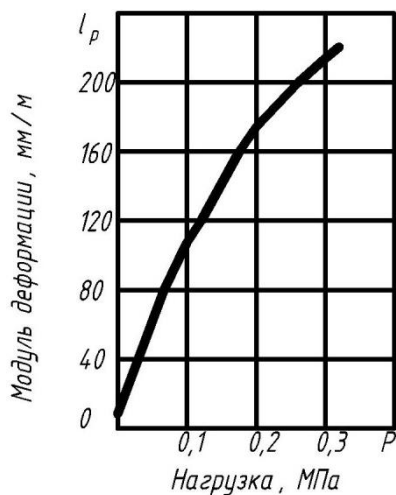


Рис. 8.2 Компрессионная кривая ила.

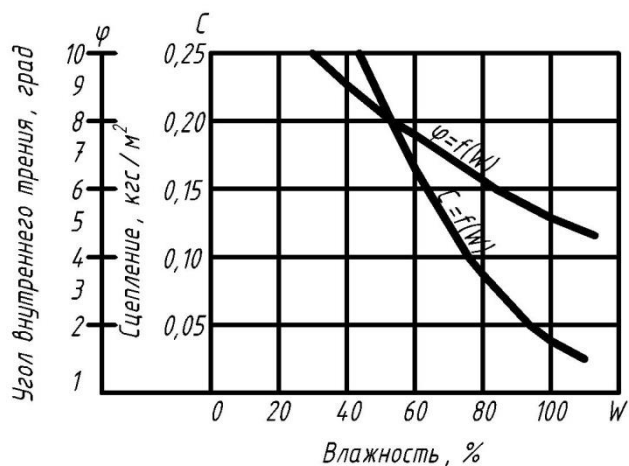


Рис. 8.3 Результаты сдвиговых испытаний ила

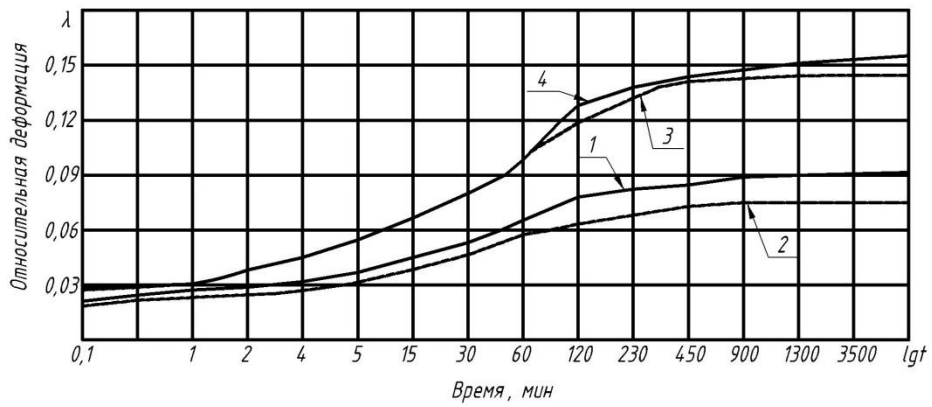


Рис. 8.4 Консолидационные кривые ила:
 1 - фильтрация двухсторонняя при $P_{упл} = 0,15$ МПа; 2 – односторонняя фильтрация при $P_{упл} = 0,15$ МПа; 3 – фильтрация двухсторонняя при $P_{упл} = 0,3$ МПа; 4 – односторонняя фильтрация при $P_{упл} = 0,3$ МПа.

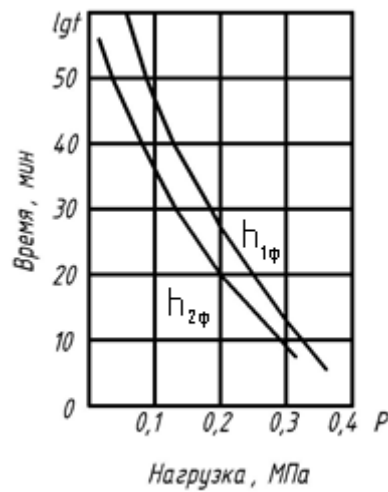


Рис. 8.5 Время достижения расчетной степени консолидации от нагрузки на образцах.

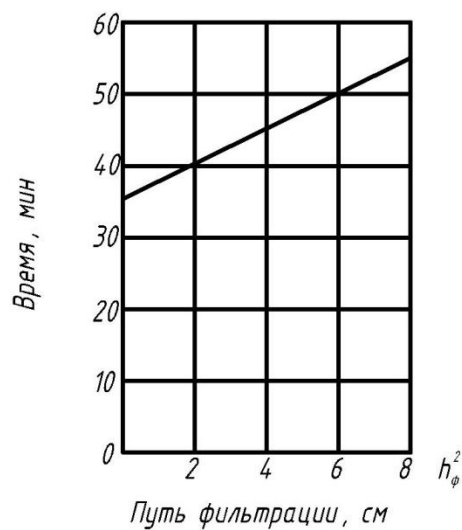


Рис. 8.6. Зависимость времени достижения расчетной консолидации от путей фильтрации.

Данные для проектирования: высота насыпи - $h_H = 5$ м; ширина поверху - $B=12$ м; заложение откосов - $m=1 \div 1,5$; плотность грунта насыпи - $\rho = 1,9 \text{ т / м}^3$.

Конечная осадка вычисляется из условий одномерной задачи методом суммирования

$$S_K = 0,001 \times \sum_1^n e_{pzi} \times h_i \quad (8.1)$$

где 0,001- переводной коэффициент;

e_{pzi} - модуль осадки по компрессионной кривой, соответствующий расчетной нагрузке P .

Результаты компрессионных испытаний приведены на рис. 8.2 и 8.3.

Расчетная нагрузка равна

$$P = \gamma_H h_H = 2 \times 9,81 \times 5 = 98,1 \text{ кПа} = 0,098 \text{ мПа}$$

Вычисляем изменение напряжений по высоте основания. Расчет ведем по таблице приложения 1.

Для этого вычисляем ординаты: $\frac{z}{B/2}$ и $\frac{2a}{B}$. При $z = 6$ м эти параметры равны 1. $\alpha_1 = 0,86$; $P_z = 0,86 \times 0,098 = 0,084$ мПа.

Для расчета величины осадки применяем графоаналитический метод. Вычисляем величину осадки при нескольких значениях P_z (соответственно половине нагрузки от веса насыпи, полной нагрузке и в 2 раза больше). Величины нагрузок равны: $P_1 = 0,049$ мПа; $P_2 = 0,098$ мПа и $P_3 = 0,196$ мПа.

Эти нагрузки по поверхности основания, то на нижней границе получаем $P_1 = 0,042$ мПа; $P_2 = 0,084$ мПа и $P_3 = 0,168$ мПа.

Средние значения модуля осадки от указанных нагрузок на верхней и нижней границе основания равны:

$$e_{p1} = 58,2 \text{ мм/м}; e_{p2} = 98,2 \text{ мм/м}; e_{p3} = 152,7 \text{ мм/м}.$$

По формуле (8.1) вычисляем конечные осадки при указанных нагрузках:

$$\begin{aligned} S_1 &= 0,001 \times 58,2 \times 5 = 29,1 \text{ см} & P_1 &= 0,042 \text{ мПа} \\ S_2 &= 0,001 \times 98,2 \times 5 = 49,1 \text{ см} & P_2 &= 0,084 \text{ мПа} \\ S_3 &= 0,001 \times 152,7 \times 5 = 76,35 \text{ см} & P_3 &= 0,168 \text{ мПа} \end{aligned}$$

Строим график $S=f(P)$ (Рис.8.7)

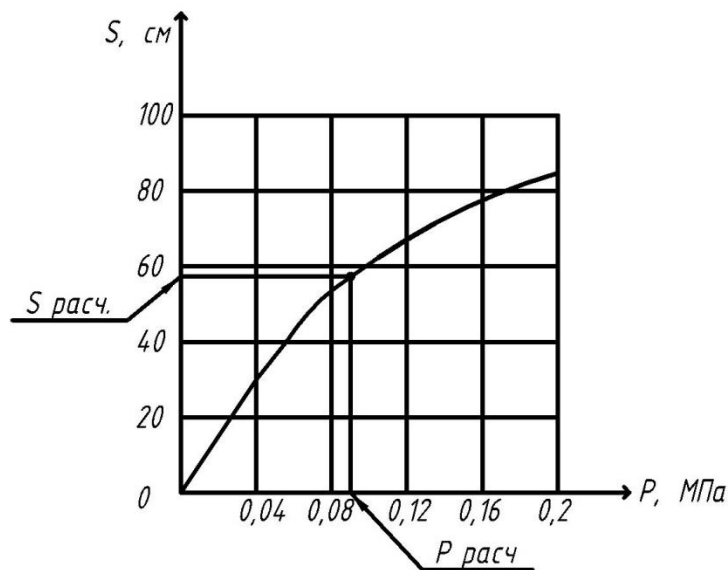


Рис. 8.7. Зависимость осадки основания от расчетных нагрузок.

Вычисляем P по формуле с учетом взвешивающего действия воды

$$P = \gamma_H h_H + \gamma_{взв} \times S$$

При $S_1 = 0$ $P_1 = 0,084$ мПа.

При $S_2 = 1$ $P_2 = 0,094$ мПа.

Строим график $S = f(P)$. Точка пересечения этих графиков дает:

а) расчетная нагрузка на основании - $P_{рас} = 0,090$ мПа;

б) конечную осадку основания - $S_k = 0,57$ м.

8.1 Проверка устойчивости слабых грунтов основания.

Несущая способность грунтов слабого основания можно оценить по коэффициенту безопасности из выражения

$$K_{без} = P_{без} / (P_{расч})$$

Геометрические и физико-механические характеристики представлены в главе 8.

Расчет выполняется из условий медленной и быстрой отсыпки насыпи. При быстрой отсыпке расчетная нагрузка равна

$$P_{расч} = \gamma_H (h_H + S_{кон}) = 1,9 \times 9,81(5 + 0,57) = 103,82 \text{ кП} = 0,104 \text{ мПа}$$

Величина безопасной нагрузки равна

$$P_{без} = (c_{нач} + \gamma_\phi Z tg \varphi_{нач}) / \beta$$

Из рис. 8.3 принимаем начальные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения, равные при природной влажности 70% соответственно $c_{нач} = 0,013$ мПа и $\varphi_{нач} = 7^\circ$.

Табличный коэффициент β (прил.2) принимается в зависимости от соотношений $\frac{2a}{B} = \frac{2 \times 6}{12} = 1$ и $\frac{Z}{B} = \frac{6}{12} = 0,5$ при $z=6$ м. Значение $\beta = 0,26$

$$P_{без} = (0,013 + 0,006 \times 6 \times 0,123) / 0,26 = 0,067 \text{ мПа}$$

Коэффициент безопасности равен

$$K_{без} = 0,067 / 0,104 = 0,644 < 1$$

Так как $K_{без} < 1$, то прочность слабых грунтов при быстрой отсыпке насыпей не обеспечена. Поэтому прочность грунтов слабого основания оценим при медленной отсыпке насыпи.

По результатам компрессионных испытаний грунтов основания находим конечную влажность после уплотнения под расчетной нагрузкой $P_{расч} = 0,104$ мПа, $W_{кон} = 54\%$. По результатам сдвиговых испытаний при этой влажности находим: $c_{кон} = 0,019$ мПа, $\varphi_{кон} = 8,1^\circ$.

Вычисляем табличный коэффициент β для слоя ила при $\varphi_{кон} = 8,1^\circ$, $v = \frac{Z}{B} = 0,5$; $\frac{2a}{B} = 1$; $\beta = 0,22$ (прил.2).

Безопасная нагрузка при медленной отсыпке равна

$$P_{без} = \frac{c_{кон} + \gamma_\phi tg \varphi_{кон} \times Z}{\beta} = \frac{0,019 + 0,006 \times 0,135 \times 6}{0,22} = 0,108 \text{ мПа}$$

$$K_{без} = \frac{0,108}{0,104} > 1$$

Это значит, что несущая способность грунтов слабого основания обеспечена.

8.2 Прогноз осадки во времени насыпи на слабом основании.

Для прогноза осадки во времени необходимо проводить испытания на консолидации идентичных образцов слабого грунта при разных условиях дренирования и разных ступенях уплотняющей нагрузки. На рис. 1 представлены консолидационные кривые образцов ила при разных уплотняющих давлениях в зависимости от относительной деформации и времени.

Время протекания осадки грунтов слабого слоя рассчитывается по формуле

$$T_{\lambda p} = b_{\lambda p} \times H_{\Phi}^2, \quad (8.2)$$

где $T_{\lambda p}$ - время достижения заданной относительной деформации (сут, годы);

H_{Φ} - путь фильтрации;

$b_{\lambda p}$ - консолидационный параметр, определяемый из выражения

$$b_{\lambda p} = \frac{4(t_2 - t_1)}{3h_{2\Phi}^2}, \quad (8.3)$$

где t_1 – время достижения заданной относительной деформации при уплотнении расчетной нагрузкой P образца высотой h_1 при двухстороннем фильтрации $h_{1\Phi} = h_{обр}/2$;

t_2 - то же, образца при одностороннем фильтрации $h_{2\Phi} = h_{обр}$.

По графику рис.8.4 при $P_{упл} = 0,15$ мПа и одностороннем фильтрации время достижения относительной деформации $\lambda=0,075$ соответствует степени консолидации $U=90\%$. Вычисляем значения $t_1=180$ мин; $t_2=326$ мин.

По формуле 8.3

$$b_{\lambda p} = \frac{4(326 - 180)}{3 \times 2,5^2} = 31,15 \text{ мин/см}^2$$

По формуле (1) вычисляем время достижения заданной степени консолидации $U=90\%$, для примера с толщиной ила 6 м.

$$T_{u=70} = 90\% = 31,15 \times 600^2 = 21,33 \text{ года.}$$

Из-за значительной времени консолидации рассчитаем степень консолидации $U = 70\%$, что соответствует относительной деформации $\lambda = 0,0583$. По графику Рис.1 для этой относительной деформации вычисляем: $t_1=45$ мин; $t_2=78$ мин. В этом случае значение $b_{\lambda p}$ равно

$$b_{\lambda p} = \frac{4(78 - 45)}{3 \times 2,5^2} = 7,04 \text{ мин/см}^2$$

Время консолидации при степени консолидации 70°

$$T_u = 70\% = 7,04 \times 600^2 = 4,82 \text{ года.}$$

При отсутствии лабораторных испытаний натуральных образцов ила время достижения интенсивной части осадки рассчитывается по теории фильтрационной консолидации (при $U = 85 \div 90\%$) по формуле

$$T_{\lambda p} = \frac{N_u \times H_{\Phi}^2}{C_u}, \quad (8.4)$$

где N_u - принимается по таблице 6.1 и равен 0,20; C_u - коэффициент консолидации при $U = 50\%$, $\text{см}^2/\text{мин}$.

Коэффициент консолидации рассчитывается по данным лабораторных исследований по формуле

$$C_u = \frac{N_u \times H_{\Phi}^2}{t_u}, \quad (8.5)$$

В рассматриваемом случае из рис.8.4 значение $t_u = 25,5$ мин. Высота образца $h_{\Phi} = 2,5\text{см}$

$$C_u = \frac{0,2 \times 2,5^2}{25,5} = 0,049 \text{ см}^2/\text{мин.}$$

Рассчитаем время достижения степени консолидации $U = 50\%$ при высоте слоя ила 6 м по формуле (8.3)

$$T_{\lambda p} = \frac{0,69 \times 600^2}{0,049} = 9,64 \text{ лет}$$

где $N_u=0,69$ из табл.6.1

Как видно из расчетов, необходим дальнейший расчет дополнительных мероприятий для ускорения осадки грунтов слабого основания.

8.3 Расчет величины временной пригрузки.

Расчет ведем по уточненной методике. Построим кривую консолидации грунтов слабого слоя. Для этого построим график зависимости осадки от времени $S = f(T)$ (рис.8.8). Вычислим по степени консолидации от соответствующие осадки $S_k = 0,57$ м.

Таблица 8.2

Степень консолидации U_t ,	Осадка соответствующая этой консолидации, м	Значения коэффициента N_u	$T_{\lambda p} = b_{\lambda p} H_{\phi}^2$ ГОДЫ
0,85	0,484	0,69	9,64
0,80	0,456	0,57	8,0
0,70	0,399	0,40	5,60
0,60	0,34	0,29	4,00
0,50	0,285	0,20	2,80

По данным таблицы 8.2 строим рис. 8.8.

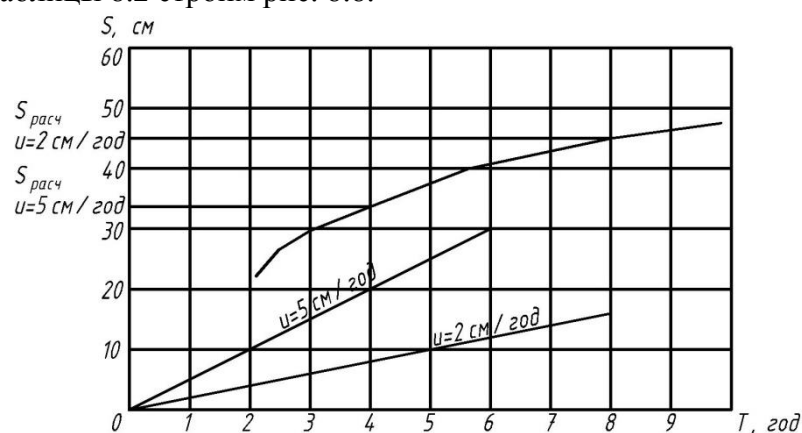


Рис. 8.8 Кривая консолидации грунта.

По графику определяем время достижения требуемой интенсивности при скорости $v=5$ см/год. С этой целью проводим к кривой консолидации касательную с углом наклона, равной допустимой интенсивности осадки 5 см/год. Точка касания определит: $t=4$ года, $U=60\%$, $\lambda=0,05$.

На основе консолидационных испытаний строим график зависимости $\lambda = f(lg)$ для образцов, пути фильтрации которых равен $h_{1\phi} = h_{об}/2$ и $h_{2\phi} = h_{об}$ (рис.8.5).

Из графика (рис.8.5) находим для расчетной нагрузки $P_{расч} = 0,09$ мПа время достижения расчетной степени консолидации:

- а) $t_{расч} = 50$ мин - при односторонней фильтрации;
- б) $t_{расч} = 38$ мин - при двусторонней фильтрации.

Уточним эти данные. Для этого строим график зависимости $t=f(h_{\phi}^2)$, т.е. график зависимости времени достижения заданной относительной деформации $\lambda=0,05$ от квадрата высоты (рис.8.6).

Зависимость между временем достижения расчетной степени консолидации от пути деформации имеет вид

$$t_{\lambda p} = a_{\lambda p} + b_{\lambda p} \times h_{\phi}^2 \quad (8.6)$$

Из графика находим $a_{\lambda p} = 36$ мин и $b_{\lambda p} = 2,56$ мин/см²

Примем требуемое время уплотнения $T_{треб} = 1$ год. Время достижения $t_{треб}$ относительной деформации $\lambda= 0,05$, и исходя из условия 1 год, рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{треб}} = T_{\text{треб}} \frac{a_{\lambda p} + b_{\lambda p} \times h_{\Phi}^2}{a_{\lambda p} + b_{\lambda p} \times H_{\Phi}^2} \quad (8.7)$$

$$t_{\text{треб}} = \frac{36 + 2,56 \times 2,5^2}{36 + 2,56 \times 600^2} \times 365 \times 24 \times 60 = 29,66 \text{ мин}$$

По рис. 8.6 время $t_{\text{треб}} = 29,66$ мин достигается при уплотнении давлением $P_{\text{треб}} = 0,290$ мПа.

Величина пригрузки рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{приг}} = P_{\text{треб}} - P_{\text{расч}} \quad (8.8)$$

$$P_{\text{приг}} = 0,20 - 0,09 = 0,110 \text{ мПа}$$

Как видно, что $P_{\text{приг}} = 0,110$ мПа $>$ $P_{\text{без}} = 0,067$ мПа. Это означает, что временную пригрузку для ускорения осадки до 1 года нельзя применять. Например, конструкция насыпи вертикальными дренами.

8.4 Проектирование вертикальными дренами.

При расчете принимаем, что горизонтальная и вертикальная фильтрационная способность грунтов слабого слоя одинаковы. Необходимо рассчитать диаметр дрен и расстояние между ними.

Расчетная нагрузка на основание равна

$$P_{\text{расч}} = \gamma h_{\text{расч}} + (\gamma_H - \gamma_{\text{взв}}) S_{\text{расч}}$$

Ранее было установлено, что расчетная нагрузка равна $S_{\text{расч}} = 0,090$ мПа, а конечная осадка $S_k = 0,57$ м.

Принимаем диаметр трубы, устанавливаемой в скважину $d=0,4$ м, шаг дрен – $l=2$ м.

Вычисляем эффективный диаметр дрен по формуле

$$D = 1,13 \times l \quad (8.9)$$

где l – шаг дрен

$$D = 1,13 \times 2 = 2,26 \text{ м}$$

Рассчитаем сближение по формуле

$$h = \frac{D}{d}, \quad (8.10)$$

$$h = \frac{2,26}{0,4} = 5,65$$

Согласно лабораторным испытаниям, время достижения 90% фильтрационной осадки при уплотнении расчетной нагрузкой образцов высотой 2,5 см при односторонней фильтрации составляет 326 мин. Рассчитаем коэффициент консолидации

$$C_u = \frac{N_u h_{\Phi}^2}{t_u} = \frac{0,85 \times 2,5^2 \times 60}{326} = 0,98 \text{ см}^2/\text{ч}$$

Фактор времени при горизонтальной фильтрации

$$T_r = \frac{c_u \times T}{l^2} = \frac{0,98 \times 365 \times 24}{200^2} = 0,215$$

где $T=1$ год.

Фактор времени при вертикальной фильтрации

$$T_b = \frac{c_u \times T}{H^2} = \frac{0,98 \times 365 \times 24}{600^2} = 0,024$$

Из графика рис.8.9 при $T_r = 0,215$ и $n=5,65$ значение степени консолидации равен $U_r = 75\%$, вертикальном направлении - $U_b = 20\%$.

Общая степень консолидации равна

$$U_{\text{общ}} = 100 - 0,01(100 - U_r)(100 - U_b) = 100 - 0,01(100 - 75)(100 - 20) = 70\%$$

Такая степень консолидации недостаточна. Поэтому диаметр трубы принимаем $d=0,6$ м и $l=1,5$ м. Повторим расчет. В результате расчета получено: $U_r = 90\%$; $U_b = 20\%$; $U_{\text{общ}} = 92\%$.

Так $U_{\text{общ}} > 90\%$ можно принять устройство вертикальных дрен диаметром 60см с шагом 1,5 м.

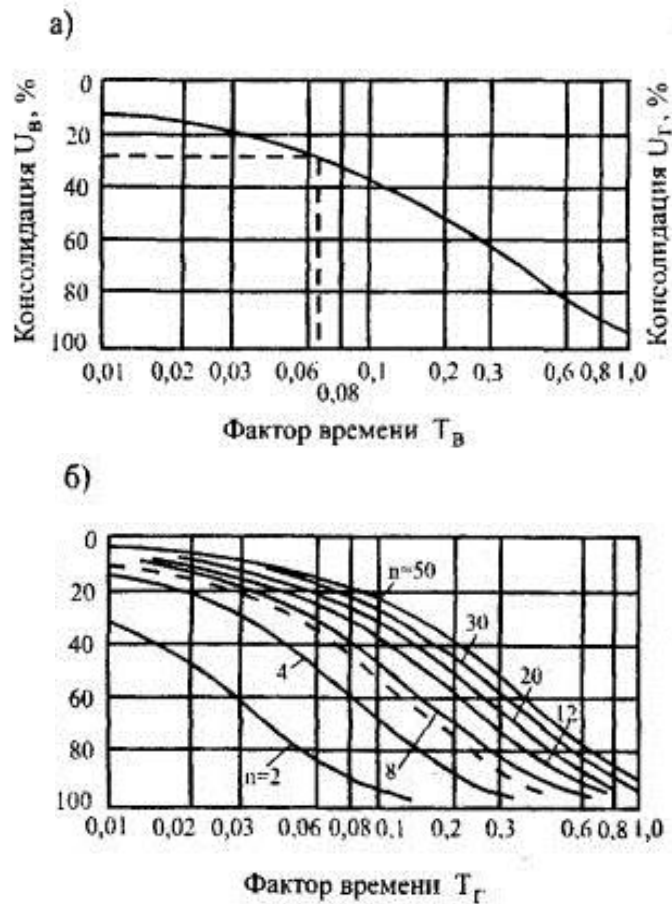


Рис.8.9. Графики для определения степени консолидации грунта основания с вертикальными дренами.

Приложение 1.

ГРАФИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСНОВАНИИ НАСЫПИ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ И ФУНКЦИИ β .

Графики (рис.1-6) позволяют определить величину большего и меньшего главных напряжений, возникающих в заданной точке грунтового массива от нагрузки, приложенной к поверхности и распределенной по закону равнобочной трапеции.

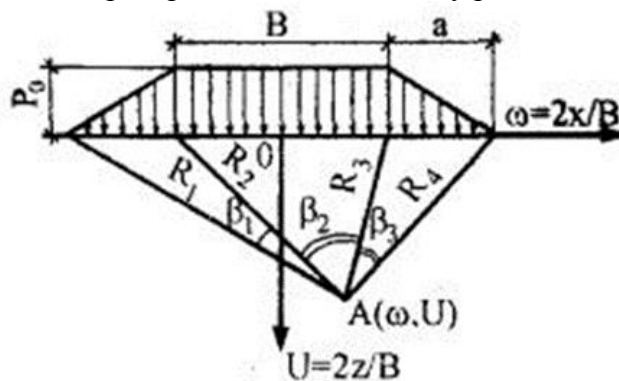


Рис.1. Расчетная схема нагрузки

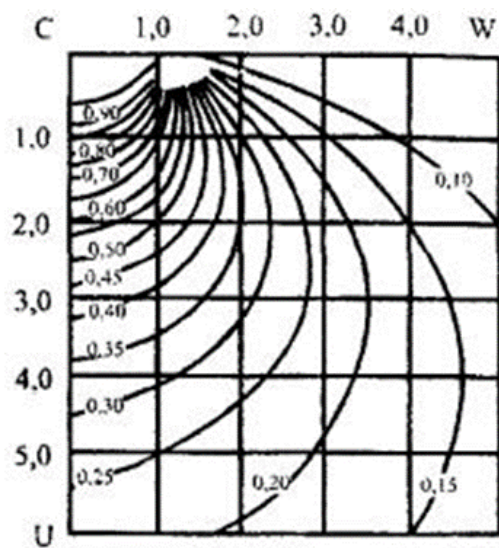


Рис.2. Графики значений $\alpha_2 = \frac{\sigma_1}{p_0}$ при $\frac{2a}{B} = 0.2$

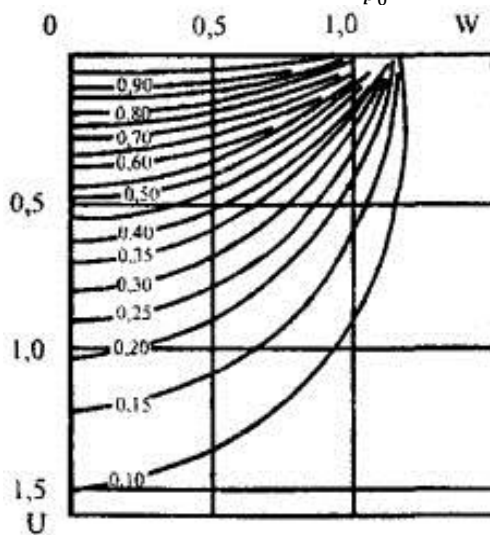


Рис.3. Графики значений $\alpha_2 = \frac{\sigma_2}{p_0}$ при $\frac{2a}{B} = 0.2$

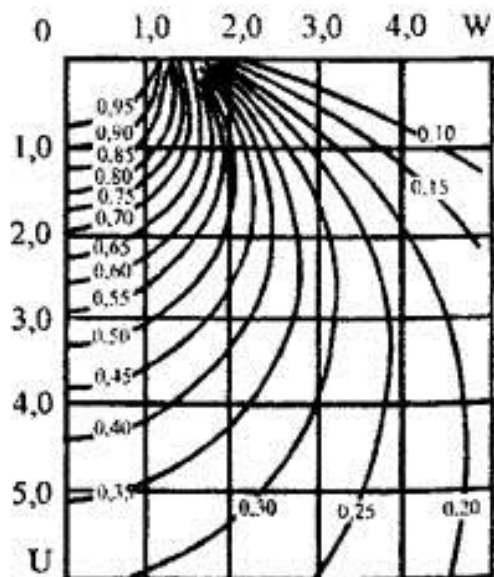


Рис.4. Графики значений $\alpha_1 = \frac{\sigma_1}{p_0}$ при $\frac{2a}{B} = 1$

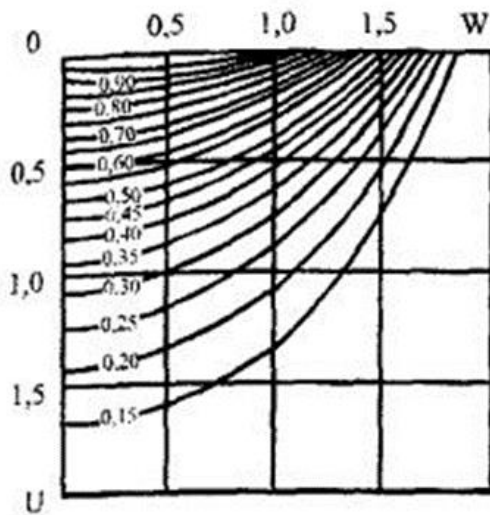


Рис.5. Графики значений $\alpha_2 = \frac{\sigma_2}{p_0}$ при $\frac{2a}{B} = 1$

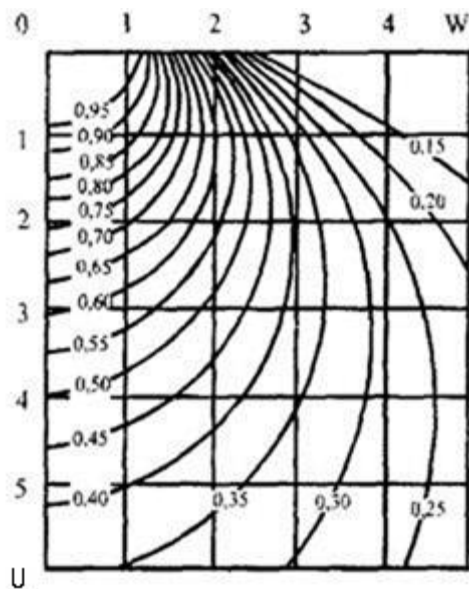


Рис.6. Графики значений $\alpha_1 = \frac{\sigma_1}{p_0}$ при $\frac{2a}{B} = 1.6$

Примечание к приложению 1.

Для точки с заданными относительными координатами $U = 2z/B$ и $w = 2x/B$ (где z и x –соответственно вертикальная и горизонтальная координаты точки в абсолютных единицах) – при заданной характеристике очертания эпюры нагрузки $2a/B$ по графикам устанавливают значения главных напряжений σ_1 и σ_2 в долях от нагрузки на поверхности p_0 .

$$\alpha_1 = \frac{\sigma_1}{p_0} \text{ и } \alpha_2 = \sigma_2/p_0.$$

Значения α_1 и α_2 определяют непосредственно по изолиниям или по интерполяции.

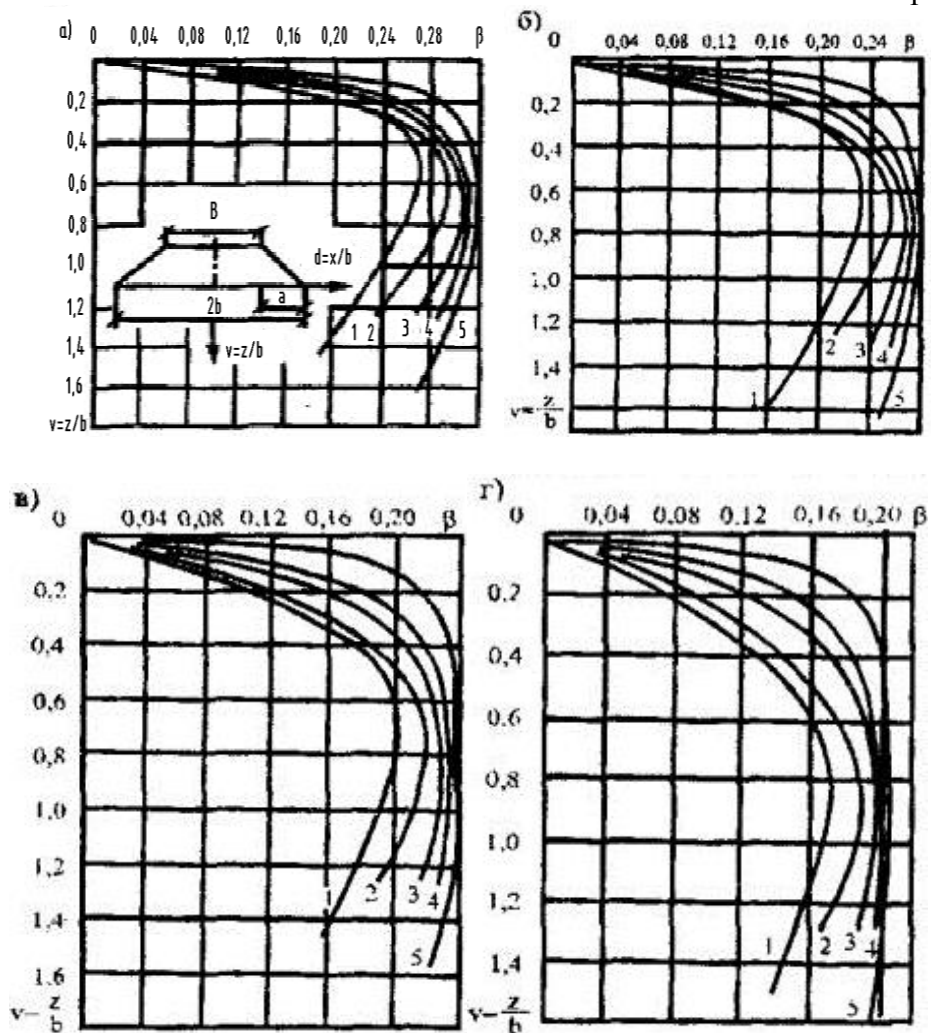


Рис.1. Графики для определения функции β :
 а- при $\varphi = 0^\circ$; б- при $\varphi = 5^\circ$; в- при $\varphi = 10^\circ$; г- при $\varphi = 15^\circ$;
 1- при $\frac{2a}{B} = 10$; 2- при $\frac{2a}{B} = 3,0$; 3- при $\frac{2a}{B} = 1,0$; 4- при $\frac{2a}{B} = 0,6$; 5- при $\frac{2a}{B} = 0,2$

