

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет транспортных коммуникаций

Кафедра «Автомобильные дороги»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ**

Методические указания

к выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»

для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Учебное электронное издание

Минск 2019

УДК 625.7

Составитель: *Н.И. Шишко, Р.К. Гатальский*

Рецензенты:

В.А. Гречухин, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета, доцент, кандидат технических наук;

М.Т. Насковец, профессор кафедры Лесных машин, дорог и технологии лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог». Данные указания содержат сведения о специализированных расчетах земляного полотна автомобильной дороги на слабых (торфяных) основаниях. Содержат справочную информацию и пример расчетов.

При разработке методических указаний учитывались требования ТКП 200-2018 «Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования», ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования», ТКП 45-3.03-112-2008 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования».

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.(017)267-67-16 факс (017)267-67-16

Регистрационный №БНТУ/ФТК74 – .2019

© Составление Шишко Н.И., Р.К. Гатальский

© БНТУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. РАСЧЕТ ОСАДКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	6
2. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	10
3. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	15
4. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ	20
5. ПРОГНОЗ ОСАДКИ ВО ВРЕМЕНИ (РАСЧЕТ РЕЖИМА ВОЗВЕДЕНИЯ НАСЫПИ)	24
6. РАСЧЕТ ВРЕМЕННОЙ ПРИГРУЗКИ.....	30
7. УСКОРЕНИЕ ОСАДКИ ПУТЕМ ЧАСТИЧНОГО ВЫТОРФОВЫВАНИЯ И ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕН И ДРЕНАЖНЫХ ПРОРЕЗЕЙ.....	36
ЛИТЕРАТУРА	42
ПРИЛОЖЕНИЕ А	43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	53

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании земляного полотна применяются типовые решения с индивидуальной привязкой, а также **индивидуальные решения при наличии соответствующих обоснований и условий:**

- для насыпей и выемок с высотой откоса более 12 м;
- для насыпей на участках временного подтопления, а также при пересечении постоянных водоемов и водотоков;
- для насыпей, сооружаемых на болотах глубиной более 4 м с выторфовыванием или при наличии поперечных уклонов дна болота более 1:10;
- для насыпей, сооружаемых на слабых основаниях;
- при использовании в насыпях грунтов повышенной влажности;
- при применении прослоек из специальных геотекстильных материалов (теплоизолирующих, гидроизолирующих, дренирующих, капилляропрерывающих, армирующих);
- при сооружении насыпей на просадочных грунтах;
- для выемок в слоистых толщах, имеющих наклон пластов в сторону проезжей части;
- для выемок, вскрывающих водоносные горизонты или имеющих в основании водоносный горизонт;
- для выемок с высотой откоса более 6 м в пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения;
- для насыпей и выемок, сооружаемых в сложных инженерно-геологических условиях: на косогорах круче 1:3, на участках с наличием или возможностью развития оползневых явлений, оврагов;
- при возведении земляного полотна с применением взрывов или гидромеханизации;
- при проектировании периодически затопляемых дорог при пересечении водотоков.

Индивидуально необходимо также проектировать водоотводные, дренажные, поддерживающие, защитные и другие сооружения, обеспечивающие устойчивость земляного полотна в сложных условиях, а также на участках сопряжения земляного полотна с мостами и путепроводами.

К **слабым грунтам** относятся связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модуль деформации ниже 5,0 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5.

Земляное полотно на слабых грунтах проектируют в виде насыпей, **расчет которых должен осуществляться с учетом особенностей работы всей дорожной конструкции** (дорожная одежда, земляное полотно, слабое основание).

Земляное полотно на слабых грунтах проектируют в комплексе с дорожной одеждой с учетом общих требований, а также **дополнительных требований, обусловленных особенностями слабых грунтов:**

устойчивости – не допускается возможность выпора (или выдавливания) слабого грунта из-под насыпи в период ее эксплуатации;

стабильности – не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации слабого грунта в основании насыпи;

прочности – упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать значений, допустимых для принятого типа покрытия.

Для исключения недопустимых упругих колебаний толщина насыпей, сооружаемых на торфяных основаниях, должна быть не менее (в метрах) значений, указанных в таблице 1:

Таблица 1

Минимальная толщина насыпного слоя

Начальная мощность слабого слоя	Тип дорожной одежды		
	Капитальный	Облегченный	Переходный
1	2	1,5	1,2
2	2,5	2	1,5
4	3	2,5	2
6	3	3	2,5

Примечания:
 1. Для промежуточных значений начальной мощности сжимаемого слоя требуемая толщина устанавливается линейной интерполяцией.
 2. Толщина насыпи в данном случае определяется разностью отметок поверхности проезжей части и просевшей подошвы насыпи по оси земляного полотна (с учетом величины полной осадки насыпи).

При возможности использования болотной залежи в качестве основания дорожной насыпи производятся **специализированные расчеты:**

- установление величины общей осадки насыпи на слабом основании;
- статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна;
- динамический расчет земляного полотна;
- расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи;
- прогноз осадки во времени (расчет режима возведения насыпи);
- расчет временной пригрузки;
- ускорение осадки путем частичного выторфовывания и путем устройства вертикальных дрен или дренажных прорезей.

Конструкции земляного полотна, применяемые при возведении насыпей на слабом (торфяном) основании, приведены в Приложении А.

1. РАСЧЕТ ОСАДКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Величину погружения насыпи в болотную залежь (осадку насыпи) определяют по формуле

$$S_{общ} = S_{сж} + S_{от} , \quad (1.1)$$

где $S_{общ}$ — общая осадка насыпи;

$S_{сж}$ — осадка сжимающихся (уплотняющихся) слоев болотной залежи;

$S_{от}$ — осадка отдавливаемых слоев болотной залежи.

Осадку $S_{от}$ вычисляют по формуле

$$S_{от} = \sum_1^n \lambda_{iот} \cdot h_i = \sum_1^n S_{iот} , \quad (1.2)$$

где $S_{iот}$ — осадка i -го отдавливаемого слоя;

$\lambda_{iот}$ — относительная деформация i -го отдавливаемого слоя толщиной h_i ;

n — количество расчетных слоев болотной залежи.

Относительную деформацию $\lambda_{от}$ определяют по таблице 1.1 в зависимости от значений сопротивления сдвигу τ по крыльчатке расчетного слоя в природном залегании (см. данные задания).

Таблица 1.1

Относительная деформация $\lambda_{от}$

τ , МПа	$\lambda_{от}$	τ , МПа	$\lambda_{от}$	τ , МПа	$\lambda_{от}$
0,001	1,00	0,006	0,55	0,011	0,20
0,002	1,00	0,007	0,45	0,012	0,15
0,003	1,00	0,008	0,37	0,013	0,10
0,004	0,82	0,009	0,30	0,014	0,05
0,005	0,67	0,010	0,25	0,015	0,00

Осадку $S_{сж}$ определяют по формуле

$$S_{сж} = \lambda_{сж} \cdot (H - S_{от}), \quad (1.3)$$

где H — полная глубина болота, м;

$\lambda_{сж}$ — относительная деформация сжимающихся слоев.

Параметры сжимаемости $\lambda_{сж}$ определяют графоаналитическим методом, используя номограмму (рисунок 1.1), построенную на основе обобщения результатов обработки многочисленных компрессионных кривых.

В качестве характеристики сжимаемости болотной залежи принят коэффициент пористости e_0 .

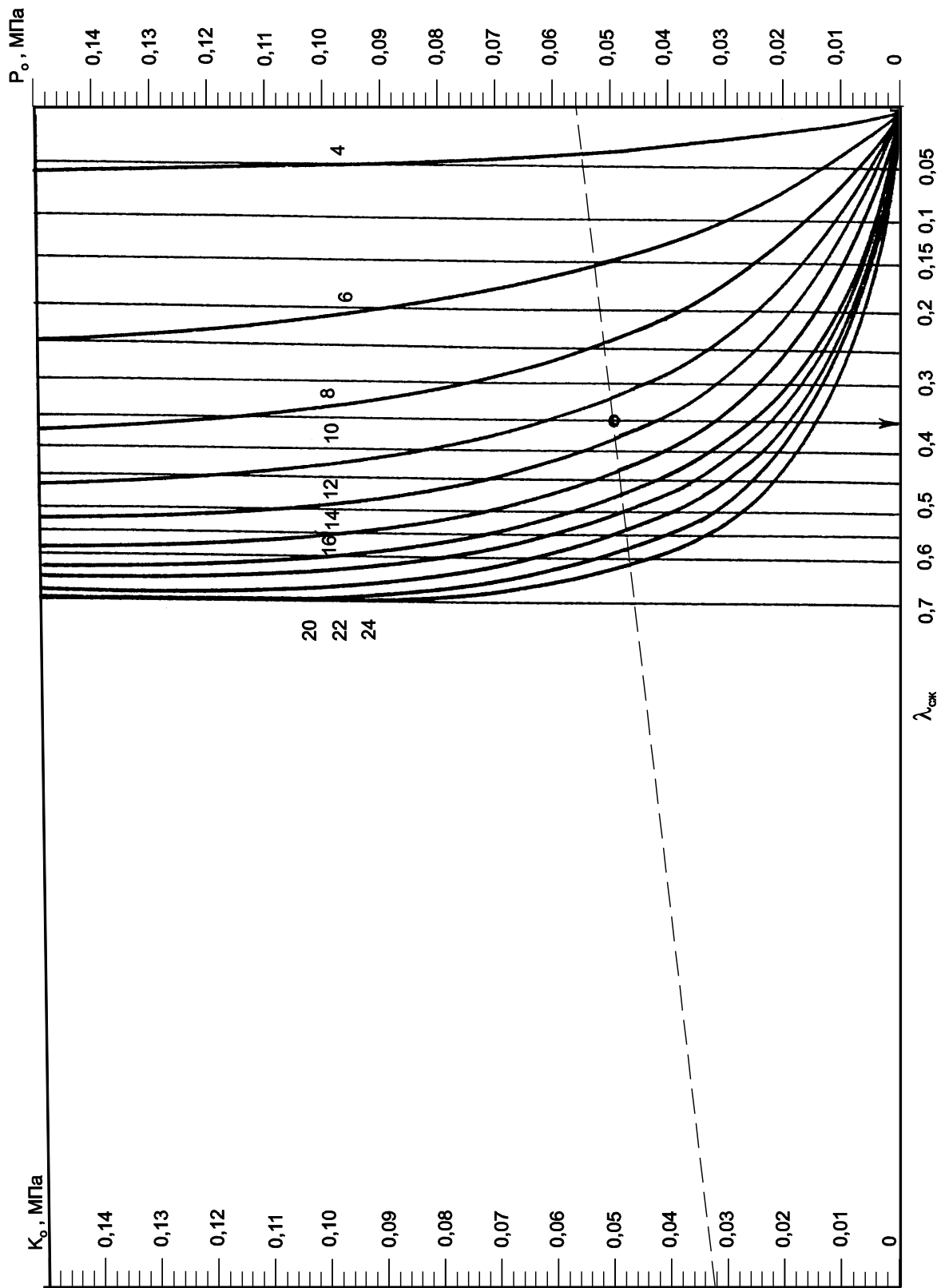


Рисунок 1.1 — Номограмма для определения осадки торфяных грунтов (цифры на кривых — средневзвешенное значение коэффициента пористости e)

Номограмма связывает четыре параметра: K_0 , P_0 , $\lambda_{сж}$ и e (e — средневзвешенное значение коэффициента пористости для болотной залежи) и позволяет путем одного наложения линейки, соединяющей две точки на шкалах K_0 и P_0 в точке пересечения линии с заданным (e), найти искомое значение $\lambda_{сж}$.

При расчете осадки слабое основание разбивают на расчетные слои в соответствии с геологическим строением, прочностными и деформативными свойствами слабых грунтов и значением действующих вертикальных напряжений по глубине.

Расчетную нагрузку $P_{расч}$, действующую на болотную залежь от массы возводимой насыпи, определяют с учетом положения уровня грунтовых вод:

$$P_{расч} = K_0 \lambda_{сж} + P_0, \quad (1.4)$$

где $\lambda_{сж}$ — относительная осадка сжатия основания, определенная по номограмме (рисунок 1.1).

Параметры нагрузки K_0 и P_0 определяют по следующим формулам и для дальнейших расчетов значение P_0 и K_0 переводится в МПа путем умножения на 10^{-2} :

$$K_0 = \rho_n^{636} H (1 - \lambda_{от}); \quad (1.5)$$

$$P_0 = \rho_n (h + h_{зв}) + \rho_n^{БЗВ} (H \lambda_{от} - h_{зв}), \quad (1.6)$$

где ρ_n и ρ_n^{636} — соответственно, плотности грунта насыпи, расположенного выше и ниже уровня грунтовых вод;

h — проектная высота насыпи (рабочая отметка);

$h_{зв}$ — расстояние от поверхности болота до горизонта грунтовых вод (см. рисунок 1.2);

$$\lambda_{от} = S_{от} / H \quad (1.7)$$

H — глубина болота.

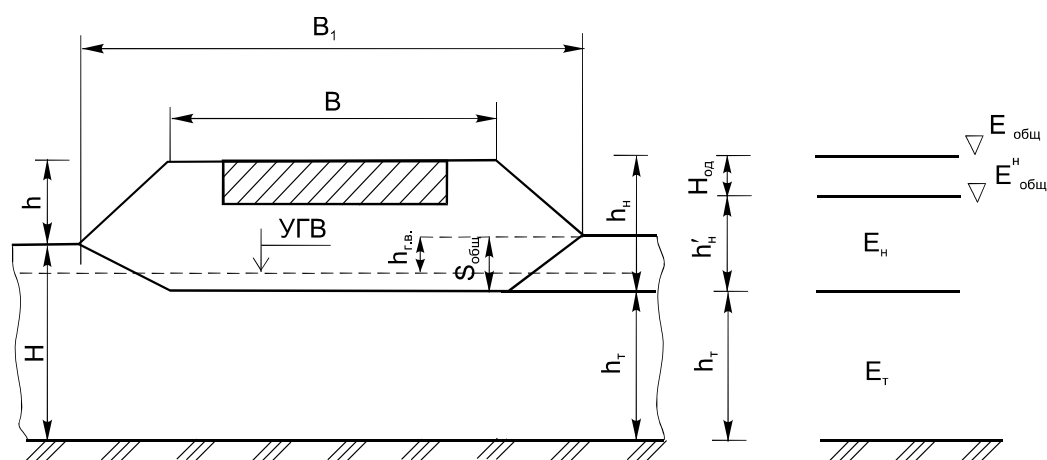


Рисунок 1.2 — Расчётная схема

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного *порядка расчета*:

1. Определение осадки отдавливаемых слоев болотной залежи $S_{от}$.
2. Определение относительной деформации отжатия $\lambda_{от}$.
3. Определение параметров нагрузки K_0 и P_0 .
4. Определение средневзвешенного значения коэффициента пористости болотной залежи e_0 .
5. Определение относительной осадки сжатия основания $\lambda_{сж}$ (по номограмме).
6. Определение расчетной нагрузки $P_{расч}$, действующей на болотную залежь от массы возводимой насыпи.
7. Определение осадки сжимающихся (уплотняющихся) слоев болотной залежи $S_{сж}$.
8. Определение общей осадки насыпи $S_{общ}$.
9. Составление расчетной схемы, соответствующей исходным данным и расчетам для конкретного варианта задания.

Контрольные вопросы:

1. Из чего складывается общая осадка возводимой насыпи на слабом основании?
2. Какие параметры (характеристики) оказывают влияние на величину относительной осадки отдавливаемых слоев слабой толщи (болота)?
3. Какие параметры (характеристики) оказывают влияние на величину относительной осадки сжимающихся слоев слабой толщи (болота)?
4. Как влияет наличие уровня грунтовых вод на величину общей осадки насыпи?
5. Чем характеризуется расчетная нагрузка от веса возводимой насыпи?

2. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Расчет прочности дорожной одежды производят согласно [4] из условия, что упругий вертикальный прогиб на поверхности покрытия не превышает предельно допустимых значений.

Требуемое значение модуля упругости на поверхности насыпи $E_{н\ общ}^{mp}$ (рисунок 1.2) определяют по таблице 2.1 на основе известных отношений $H_{до}/D$ и $E_{общ}/E_{ср до}$,

где $E_{общ}$ — общий требуемый модуль упругости на поверхности покрытия, МПа;

$E_{ср до}$ — средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа;

$$E_{ср.до} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = \frac{\sum_i^n E_i h_i}{H_{до}}, \quad (2.1)$$

где $H_{до}$ — толщина дорожной одежды, см;

D — диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля, см;

h_1, h_2, \dots, h_n — толщина конструктивных слоев дорожной одежды, см;

E_1, E_2, \dots, E_n — модули упругости конструктивных слоев дорожной одежды, МПа.

Таблица 2.1

Общий модуль упругости на поверхности насыпи

$E_{ср.до} / E_{н\ общ}^{mp}$	$E_{общ} / E_{ср до}$ для значений $H_{до} / D$															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
7	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,33	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
8	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42
9	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,35	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,40
10	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
11	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37
12	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36
13	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35
14	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34
15	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
20	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29

Проектируемая насыпь на основании из болотного грунта должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить заданную прочность дорожной одежды. Соблюдение этого требования возможно, если фактический модуль упругости системы **насыпь — болотный грунт** равен требуемому модулю упругости ($E_{н\ общ}^{mp}$), полученному по результатам расчета дорожной одежды.

Фактический модуль упругости на поверхности насыпи (модуль упругости системы *насыпь — болотный грунт*) определяют по формуле:

$$E_{n\text{ общ}}^{\phi} = \frac{E_n \cdot E_m}{E_m \cdot m + E_n \cdot K \cdot n \cdot \eta}, \quad (2.2)$$

где E_n — модуль упругости грунта насыпи, принимаемый по данным таблицы 2.2 или на основе результатов испытаний, МПа;

E_m — модуль упругости болотного грунта, уплотненного массой насыпи, который определяют по данным компрессионных или штамповых испытаний, МПа.

Для торфяных грунтов E_m допускается определять по экспериментальной зависимости $E_m = f(\rho_d; \lambda_{сж})$, приведенной на рисунке 2.1 (ρ_d — плотность сухого торфа в природном залегании (средневзвешенное значение по слоям слабого (болотного) основания), г/см³; $\lambda_{сж}$ — относительная деформация сжатия торфа, уплотненного массой насыпи);

m — коэффициент, учитывающий относительную толщину насыпного слоя h'_n/D (таблица 2.3).

Таблица 2.2

Модуль упругости песчаных грунтов

Вид грунта	Модуль упругости, МПа (кгс/см ²)
Пески крупные и гравелистые	130 (1300)
Пески средней крупности	120 (1200)
Пески мелкие	100 (1000)

Таблица 2.3

Коэффициент m

h'_n/D	0,2	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
m	0,198	0,496	0,658	0,761	0,817	0,854	0,876	0,892

h'_n/D	4	5	6	8	10	12	16	20
m	0,907	0,925	0,938	0,953	0,963	0,968	0,977	0,988

Здесь h'_n — толщина насыпного слоя, исчисляемая от низа дорожной одежды до подошвы насыпи (см. рисунок 1.2)

$$h'_n = h + S_{\text{общ}} - H_{\text{до}} \quad (2.3)$$

где D — диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса расчетного автомобиля;

h — высота насыпи;

$S_{обш}$ — осадка слабого основания;

$H_{до}$ — толщина дорожной одежды;

K — комплексный коэффициент, учитывающий конечные размеры слоя торфа и распределяющую способность насыпи.

Коэффициент K определяют по графику (рисунок 2.2а) в зависимости от отношений $h'_н/D$ и h_m/D ($h_m = H - S_{обш}$, где H — глубина болота);

η — коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, зависящий главным образом от отношения жесткостей, выражаемых модулями упругости.

Численные значения коэффициента η как функции отношения E_n/E_m для $h'_н \geq 2D$ определяют по графику (рисунок 2.2 б);

n — коэффициент, значения которого принимают по таблице 2.4.

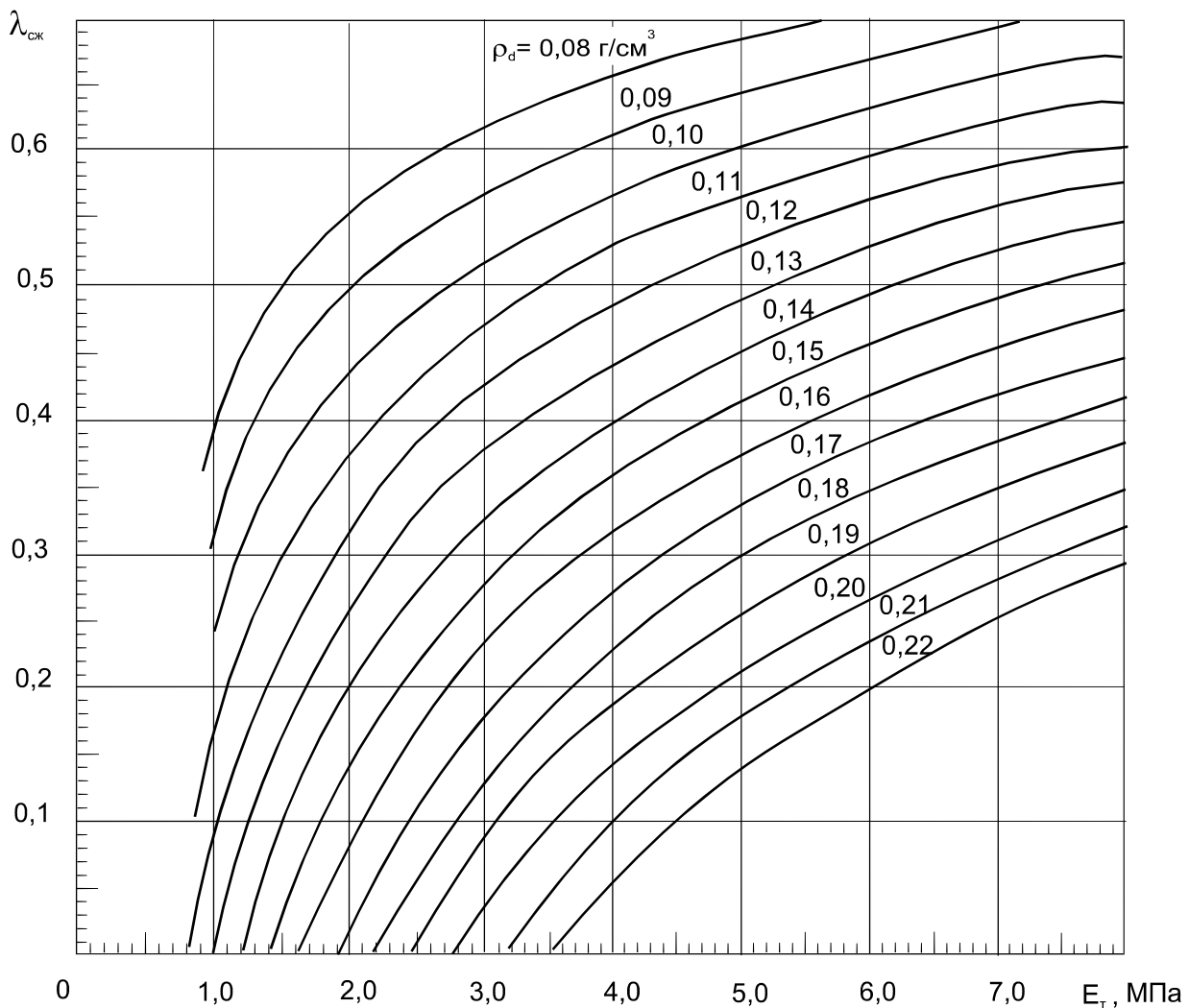


Рисунок 2.1 — Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

Таблица 2.4

Коэффициент n

h'_u/D	$\leq 2,5$	3,0	3,5	4,0	4,5	$\geq 5,0$
n	5	4	3	2	1,5	1,3

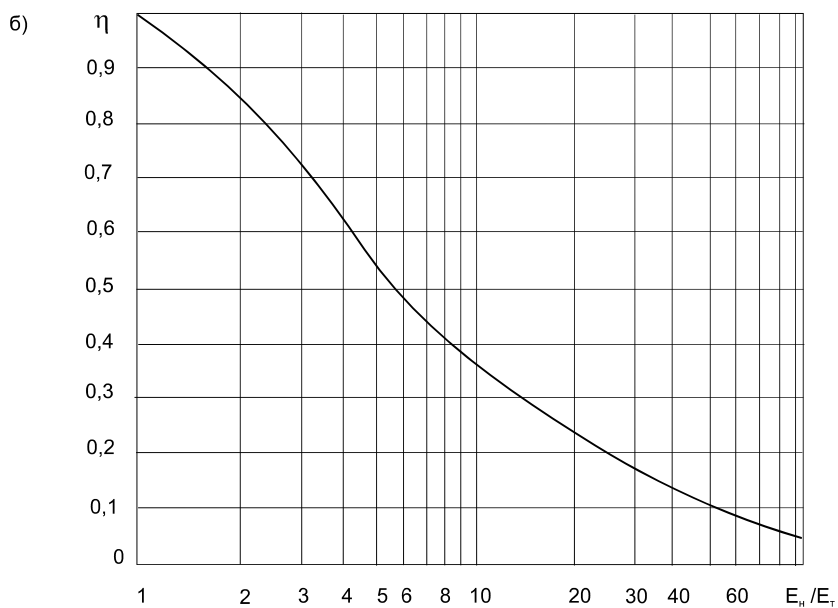
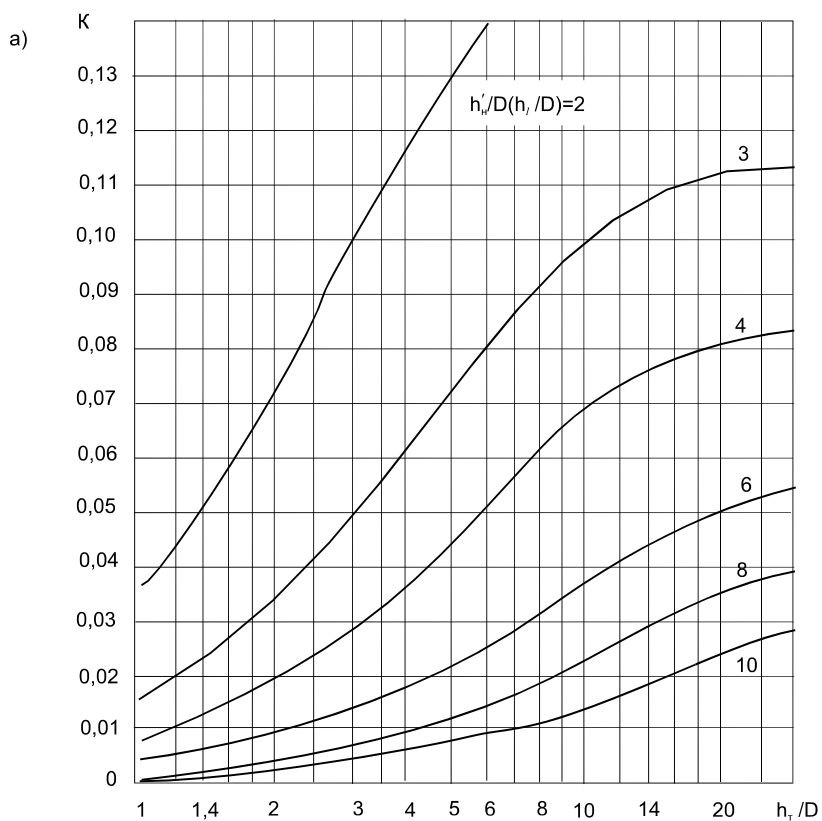


Рисунок 2.2 — Графики для определения коэффициентов K и η

Если условие достаточной толщины (прочности системы (*насыпь — болотный грунт*) $E_{н\ общ}^{\phi} > E_{н\ общ}^{mp}$) не выполняется, необходимо увеличить высоту насыпи и произвести расчет по определению осадки заново, а затем проверить выполнение условия заново.

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного **порядка расчета:**

1. Назначение конструкции дорожной одежды (в соответствии с категорией дороги) и общего модуля упругости на поверхности покрытия $E_{общ}$ (в соответствии с категорией дороги и группой расчетной нагрузки).

2. Определение средневзвешенного модуля упругости (при температуре 10°C) слоев дорожной одежды $E_{ср до}$.

3. Определение толщины насыпаемого слоя h'_n (от низа дорожной одежды до подошвы насыпи).

4. Определение фактического модуля упругости на поверхности насыпи $E_{н\ общ}^{\phi}$.

4.1 Определение $E_m = f(\rho^{pd}; \lambda_{сж})$ по номограмме (рисунок 2.1), определение средневзвешенной плотности сухого торфа по толщине болота ρ^{pd} .

4.2 Определение значений коэффициентов K , m , n и η .

5. Определение требуемого модуля упругости на поверхности насыпи $E_{н\ общ}^{mp}$ по таблице 2.1.

6. Проверка выполнения условия достаточной прочности системы (*насыпь — болотный грунт*) $E_{н\ общ}^{\phi} > E_{н\ общ}^{mp}$.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается проверка статической прочности дорожной одежды, возводимой на насыпи на слабом (торфяном) основании?
2. Какие параметры (характеристики) оказывают влияние на величину фактического модуля упругости на поверхности насыпи?
3. Какие параметры (характеристики) оказывают влияние на величину требуемого модуля упругости на поверхности насыпи?
4. Как определяется толщина насыпного слоя грунта для возведения земляного полотна?
5. Какие мероприятия предусматриваются при несоблюдении условия статической прочности возводимой дорожной одежды и земляного полотна?

3. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Динамический расчет сводится к соблюдению следующего условия:

$$a_{\text{факт}} \leq a_{\text{доп}}, \quad (3.1)$$

где $a_{\text{факт}}$ — ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе;

$a_{\text{доп}}$ — предельно допустимое ускорение колебаний насыпи на торфе, определяемое в зависимости от типа проектируемого покрытия и частоты колебаний насыпи (рисунок 3.2).

Ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе определяется по формуле

$$a_{\text{факт}} = A \cdot \omega^2, \quad (3.2)$$

где A — амплитуда колебаний насыпи;

ω — круговая частота собственных колебаний насыпи.

Амплитуду колебаний насыпи на торфе определяют по формуле

$$A = l \cdot (K_{\text{дин}} - 1), \quad (3.3)$$

где l — упругий прогиб торфяного основания, вызываемый статической нагрузкой от колеса расчётного автомобиля;

$K_{\text{дин}}$ — динамический коэффициент, характеризующий увеличение прогиба за счёт эффекта подвижности нагрузки.

Динамический расчет необходимо производить в следующей последовательности:

- а) определить частоту собственных колебаний насыпи;
- б) определить амплитуду колебаний насыпи;
- в) вычислить ускорение колебаний проектируемой насыпи;
- г) определить предельно допустимые ускорения колебаний;
- д) проверить допустимость ускорений колебаний проектируемой насыпи;
- е) наметить мероприятия по уменьшению ускорений колебаний, если они превышают предельно допустимые значения.

При определении частоты собственных колебаний насыпи в зависимости от отношения ее толщины к толщине оставляемого слоя торфа следует рассматривать два расчетных случая:

1-й: $h_n/h_m \geq 0,5;$

2-й: $h_n/h_m < 0,5.$

$h_n = h + S_{\text{общ}}; h_m = H - S_{\text{общ}};$

Частоту собственных колебаний насыпей на торфяном основании определяют по формулам:

а) для 1-го расчетного случая

$$\omega = \sqrt{\frac{E_{np} \cdot g}{P_{расч} h_n \eta \alpha_0}}; \quad (3.4)$$

б) для 2-го расчетного случая

$$\omega = \frac{1}{h_T} \sqrt{\frac{E_{np} \cdot g}{\rho_T \left(1 + \frac{K_2}{3K_1}\right)} \cdot \frac{K_2}{K_1}}. \quad (3.5)$$

В формулах (3.4) и (3.5): E_{np} — приведенный модуль упругости торфа, учитывающий отсутствие боковых перемещений колеблющейся призмы торфяного основания:

$$E_{np} = E_m \frac{(1-\mu)^2}{1-2\mu}, \quad (3.6)$$

μ — среднее значение коэффициента Пуассона (отношение относительной поперечной деформации к относительной продольной деформации грунта) для торфа. При отсутствии данных испытаний допускается принимать $\mu = 0,35$. В этом случае $E_{np} = 1,41 E_m$;

g — ускорение свободного падения ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$);

$$K_1 = h_n / h_m \quad (3.7)$$

$$K_2 = \rho_m / \rho_n. \quad (3.8)$$

здесь h_n — общая толщина насыпного слоя, см;

h_m — толщина слоя торфа под насыпью, см;

ρ_m и ρ_n — соответственно средняя плотность торфа и грунта насыпи, г/см³;

η — коэффициент, определяемый по графику (см. рисунок 2.2 б);

$P_{расч}$ — расчетная нагрузка на основание, МПа (см. пред. расчет №1);

α_0 — коэффициент М.И. Горбунова-Посадова, определяемый в зависимости от отношения $2h_m/D$ по таблице 3.1.

Коэффициент α_0

$2h_m/D$	α_0	$2h_m/D$	α_0	$2h_m/D$	α_0	$2h_m/D$	α_0
0,00	0,00	1,0	0,50	3	0,81	10	0,94
0,25	0,13	1,5	0,64	4	0,86	20	0,97
0,50	0,26	2,0	0,73	5	0,89	50	0,99
0,75	0,39	2,5	0,78	7	0,92	∞	1,00

Упругий прогиб торфяного основания вычисляют по формуле

$$l = \frac{\rho D}{E_T} \cdot K \cdot \eta \cdot n, \quad (3.9)$$

где ρ и D — параметры расчетной нагрузки (МПа, мм);
 K, η, n — эмпирические коэффициенты (см. расчет №2).

Динамический коэффициент ($K_{дин}$), равный отношению максимального динамического прогиба торфяного основания, вызываемого движущимся автомобилем, к величине статического прогиба, определяют по графику (рисунок 3.1) в зависимости от коэффициента демпфирования (Ψ).

Для 1-го расчетного случая он равен $8,6/\omega$;

для 2-го — $0,33/E_m$ (E_m в МПа).

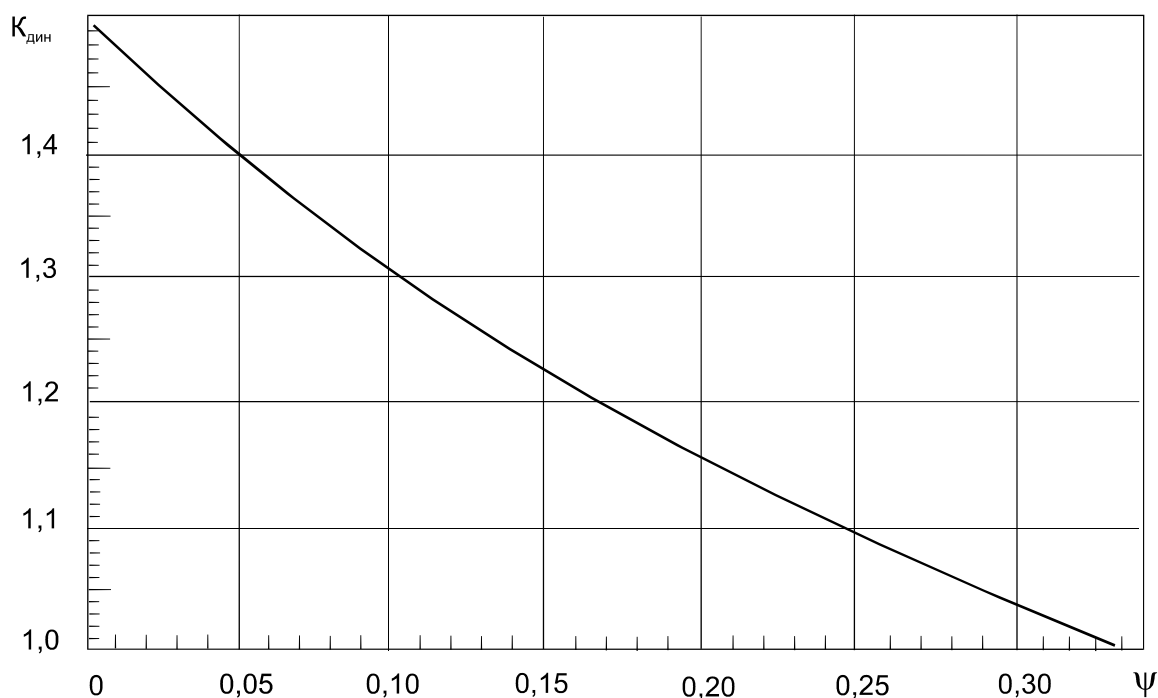


Рисунок 3.1 — График для определения динамического коэффициента

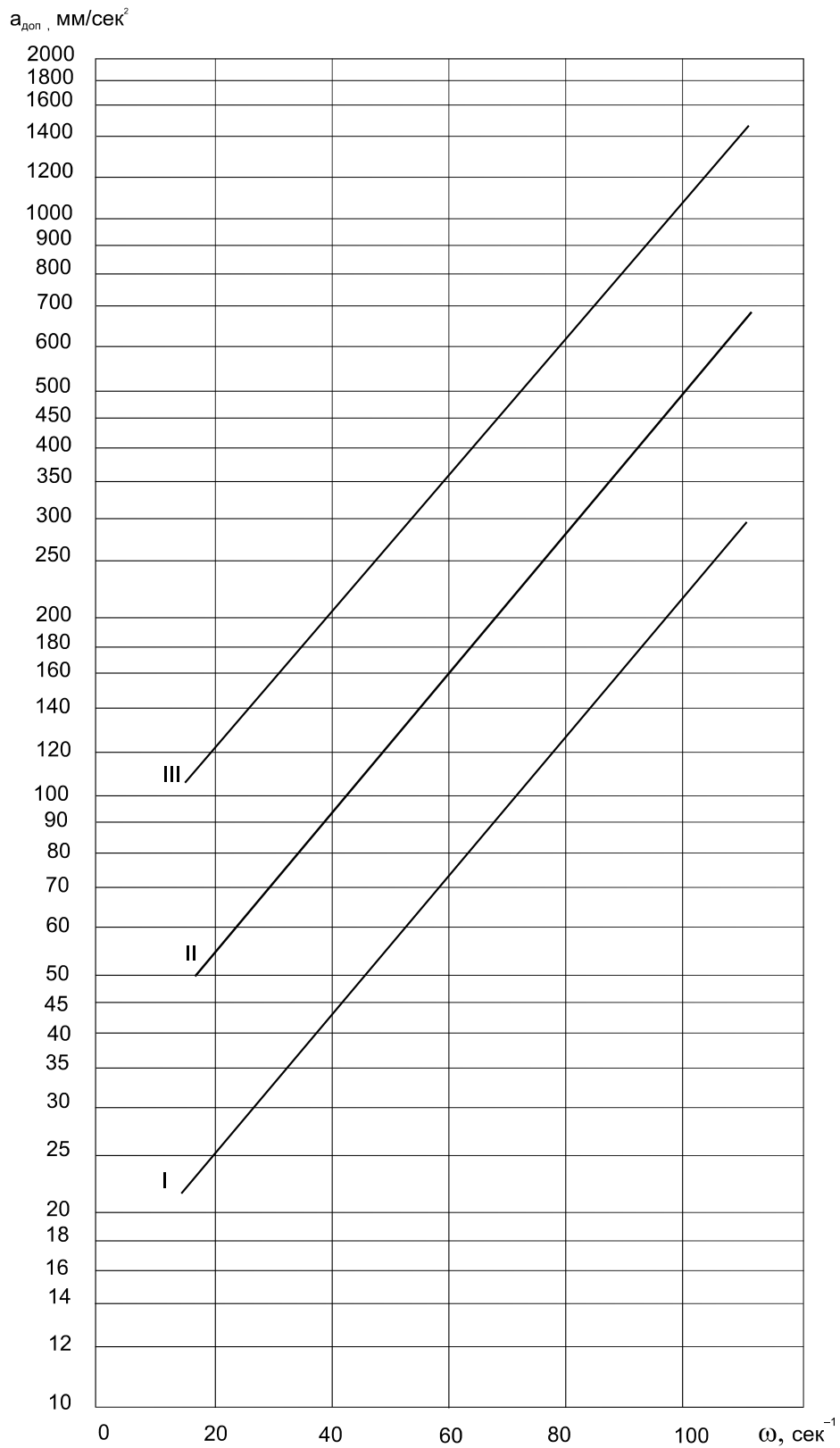


Рисунок 3.2 — Предельно допустимые ускорения колебаний земляного полотна для:
 I — усовершенствованных капитальных покрытий;
 II — усовершенствованных облегчённых покрытий;
 III — переходных покрытий

Мероприятия по снижению ускорений колебаний земляного полотна.

В случаях, когда не выполняется требование условия (3.1), обеспечивающее допустимые колебания насыпи на торфе, находящейся под действием динамической нагрузки, необходимо наметить мероприятия по снижению колебаний.

Основным и наиболее простым способом снижения ускорений колебаний земляного полотна на торфяном основании является увеличение толщины насыпного слоя, что обеспечивает уменьшение частот и амплитуд колебаний и, в конечном счете, снижает ускорение колебаний.

Если по условиям продольного профиля поднятие насыпи нежелательно, то для увеличения толщины насыпного слоя можно пользоваться методами пригрузки или частичного выторфовывания.

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного ***порядка расчета***:

1. Определение расчетного случая для определения частоты собственных колебаний.
2. Определение частоты собственных колебаний ω (в сек^{-1}).
 - 2.1 Определение приведенного модуля упругости торфа $E_{пр}$.
 - 2.2 Определение необходимых коэффициентов α_0 или K_1 и K_2 в зависимости от расчетного случая.
3. Определение упругого прогиба торфяного основания l (в миллиметрах).
4. Определение амплитуды колебаний насыпи на торфе A .
 - 4.1 Определение коэффициента динамичности $K_{дин}$.
5. Определение фактического ускорения колебаний проектируемой насыпи $a_{факт}$ (в $\text{мм}/\text{с}^2$).
6. Определение предельно допустимого ускорения колебаний проектируемой насыпи $a_{дон}$ (в $\text{мм}/\text{с}^2$).
7. Проверка соблюдения $a_{факт} \text{ (в } \text{мм}/\text{с}^2) \leq a_{дон} \text{ (в } \text{мм}/\text{с}^2)$.

Контрольные вопросы:

1. Чем обеспечивается динамическая прочность земляного полотна?
2. Какие факторы влияют на величину упругого прогиба торфяного основания?
3. Дать определение понятию частота собственных колебаний.
4. Какие мероприятия предусматриваются при несоблюдении условия динамической прочности земляного полотна?
5. Дать определение и нарисовать на координатных осях понятие амплитуды колебаний, периода.

4. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ

Степень устойчивости слабого основания при воздействии на него нагрузки от массы сооружаемого земляного полотна оценивают по значению коэффициента безопасности наиболее слабого слоя.

Коэффициент безопасности ($K_{без}$) определяют как отношение безопасной нагрузки ($P_{без}$) к расчетной ($P_{расч}$).

Значение безопасной нагрузки, которую можно приложить к слабому основанию, находящемуся в природном (неконсолидированном) состоянии, при быстрой отсыпке насыпи определяют по формуле:

$$P_{без}^{нач} = N \cdot \tau, \quad (4.1)$$

где N — коэффициент, зависящий от ширины насыпи по подошве и относительной глубины расположения слабого слоя, значения которого следует принимать по таблице 4.1;

τ — сопротивление сдвигу слабого грунта в природном залегании по данным испытаний крыльчаткой.

Таблица 4.1
Коэффициент N

Относительная глубина расположения расчетного слоя с минимальным сопротивлением сдвигу (в долях от ширины насыпи по подошве)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
N	5,25	3,84	3,51	3,34	3,23

Расчетную нагрузку $P_{расч}$ определяют по методике, приведенной в лабораторной работе №1.

В зависимости от значений ($K_{без}^{нач}$) определяют тип основания по устойчивости:

- $K_{без}^{нач} \geq 1$ — основание I типа;
- $1 > K_{без}^{нач} \geq 0,7$ — основание II типа;
- $0,7 > K_{без}^{нач} \geq 0,2$ — основание III А типа;
- $K_{без}^{нач} < 0,2$ — основание III Б типа.

Расчет безопасной нагрузки предварительно консолидированных оснований осуществляют по формуле:

$$R_{без}^{кон} = \frac{N \cdot \tau}{(1 - U_0 \cdot \lambda_{сж})^3}, \quad (4.2)$$

где $\lambda_{сж}$ — относительная конечная осадка сжатия основания при предварительном уплотнении (см. пункт 1);

U_0 — степень консолидации при предварительном уплотнении (см. таблицу 4.2).

Таблица 4.2

Степень консолидации (U_0)

$\lambda_{сж}$	Менее 0,05	От 0,05 до 0,15	От 0,15 до 0,30	От 0,30 до 0,40	Св. 0,40
U_0	0,25	0,33	0,5	0,6	0,65

Консолидация - повышение плотности грунта под воздействием нагрузки во времени. В процессе консолидации грунта объем воды в единице объема грунта уменьшается вследствие ее отжатия (фильтрации) при действии внешней нагрузки и грунт уплотняется.

В зависимости от характера грунта различают два типа процесса консолидации. Консолидация первого типа наблюдается в грунтах со слабыми водно-коллоидными связями (пылеватые и песчанистые глинистые грунты), обуславливается водопроницаемостью грунта и условиями оттока выжимаемой из грунта воды – **фильтрационная консолидация**. Консолидация второго типа наблюдается в глинистых грунтах со значительными водно-коллоидными структурными связями, которые осложняют процесс уплотнения.

Степень консолидации – это отношение осадки (деформации) слабого грунта в некоторый момент времени к полной его осадке, наблюдаемой по окончании процесса консолидации.

Предварительное определение степени устойчивости слабого основания и его пригодности к использованию в качестве основания дорожной насыпи может быть выполнено на основании анализа прочностных характеристик торфяных грунтов, слагающих слабое основание.

В зависимости от значений сопротивления сдвигу τ каждого выделенного расчетного слоя слабого основания назначается соответствующий строительный тип болотного грунта по таблице 4.3. Затем тип слабого основания по устойчивости назначается в зависимости от строительных типов болотных грунтов, слагающих болотную залежь по таблице 4.4.

Таблица 4.3

Строительный тип болотного грунта

Разновидность болотного грунта по состоянию	Осушенный (уплотненный) или маловлажный	Средней влажности	Очень влажный	Избыточно влажный и жидкие образования
Сопротивление сдвигу по крыльчатке τ , МПа	$> 0,015$	0,010–0,015	0,005–0,010	$< 0,005$
Строительный тип болотного грунта	1	2	3а	3б

Таблица 4.4

Тип основания по устойчивости

Строительные типы грунтов, слагающих болотную залежь	Тип основания по устойчивости	Преобладающая деформация грунта наиболее слабого слоя	Возможность использования болотной залежи в качестве несущего слоя
Только тип 1	I	Сжатие	Можно использовать
Тип 2 обязателен. Возможно наличие типа 1	II	При быстрой отсыпке – сдвиг (выдавливание, выпор), при медленной – сжатие	Можно использовать при постепенном нагружении
Тип 3а обязателен. Возможно наличие типов 1 и 2	III А	При быстрой отсыпке – сдвиг (выдавливание, выпор), при медленной – сжатие и частичное выдавливание	Можно использовать при постепенном нагружении
Преимущественно тип 3б. Возможно наличие других типов	III Б	Сдвиг (выдавливание, выпор) при любой скорости отсыпки	Нельзя использовать (следует изменить конструкцию насыпи или удалить слабый грунт)

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного *порядка расчета*:

1. Предварительное назначение типа слабого основания по устойчивости.
2. Определение коэффициента N , зависящего от ширины насыпи по подошве и относительной глубины расположения слабого слоя.
3. Значение безопасной нагрузки, которую можно приложить к слабому основанию, находящемуся в природном (неконсолидированном) состоянии $P_{без}$.
4. Определение коэффициента безопасности ($K_{без}$).
5. Определение строительного типа слабого основания по устойчивости.
 - 5.1 Характеристика слабого основания по устойчивости.
 - 5.2 Сравнение предварительной оценки степени устойчивости с расчетным значением по коэффициенту безопасности неконсолидированного торфяного основания.

Контрольные вопросы:

1. Какие типы основания по устойчивости бывают?
2. Дать определение понятию степень консолидации.
3. Чем степень консолидации при предварительном уплотнении отличается от степени консолидации при окончательном уплотнении?
4. Какие строительные типы болотного грунта бывают, от какого параметра зависят?
5. Коэффициент безопасности, что это, от каких параметров зависит, для чего определяется.

5. ПРОГНОЗ ОСАДКИ ВО ВРЕМЕНИ (РАСЧЕТ РЕЖИМА ВОЗВЕДЕНИЯ НАСЫПИ)

Продолжительность осадки t для достижения требуемой степени консолидации U слабого основания определяют по номограмме (рисунок 5.1, 5.2) в зависимости от режима возведения насыпи, характеризуемого величиной нагрузки (P_1), допускаемой по условиям устойчивости основания, и длительностью периода отсыпки насыпного слоя (t_0), в течение которого нагрузка на основание возрастает от P_1 до $P_{расч}$.

Номограмма связывает четыре комплексных параметра:

$$\frac{t_0}{T}, \frac{t}{T}, \frac{\lambda_1/\lambda}{1-\lambda_1/\lambda} \text{ и } \frac{U}{1-\lambda_1/\lambda},$$

где t_0 — продолжительность периода отсыпки насыпного слоя;

t — время, необходимое для достижения требуемой степени консолидации (U) слабой толщи;

λ_1 — конечная относительная деформация сжатия (уплотнения) основания для нагрузки P_1 ;

λ — конечная относительная деформация сжатия (уплотнения) основания для нагрузки $P_{расч}$;

T — консолидационный параметр, имеющий размерность времени, характеризует интенсивность затухания осадки.

По любым трем известным параметрам, обозначенным на шкалах номограммы, с помощью одного наложения линейки определяют искомый четвертый параметр.

Консолидационный параметр T определяют по следующим зависимостям:

а) для оснований I типа по устойчивости

$$T = \frac{2,5 \cdot 10^{-5} S_{сж}}{(\lambda_{сж} P)^2}; \quad (5.1)$$

б) для оснований II и III типа по устойчивости

$$T = \frac{4 \cdot 10^{-2} S_{сж}}{\sqrt{\lambda_{сж} P}}, \quad (5.2)$$

где T — консолидационный параметр, сут;

P — нагрузка от массы насыпи, действующая на основание ($P_{расч}$), МПа;

$\lambda_{сж}$ — относительная деформация сжатия слабого основания;

$S_{сж}$ — осадка сжимающихся слоев слабого основания, в см.

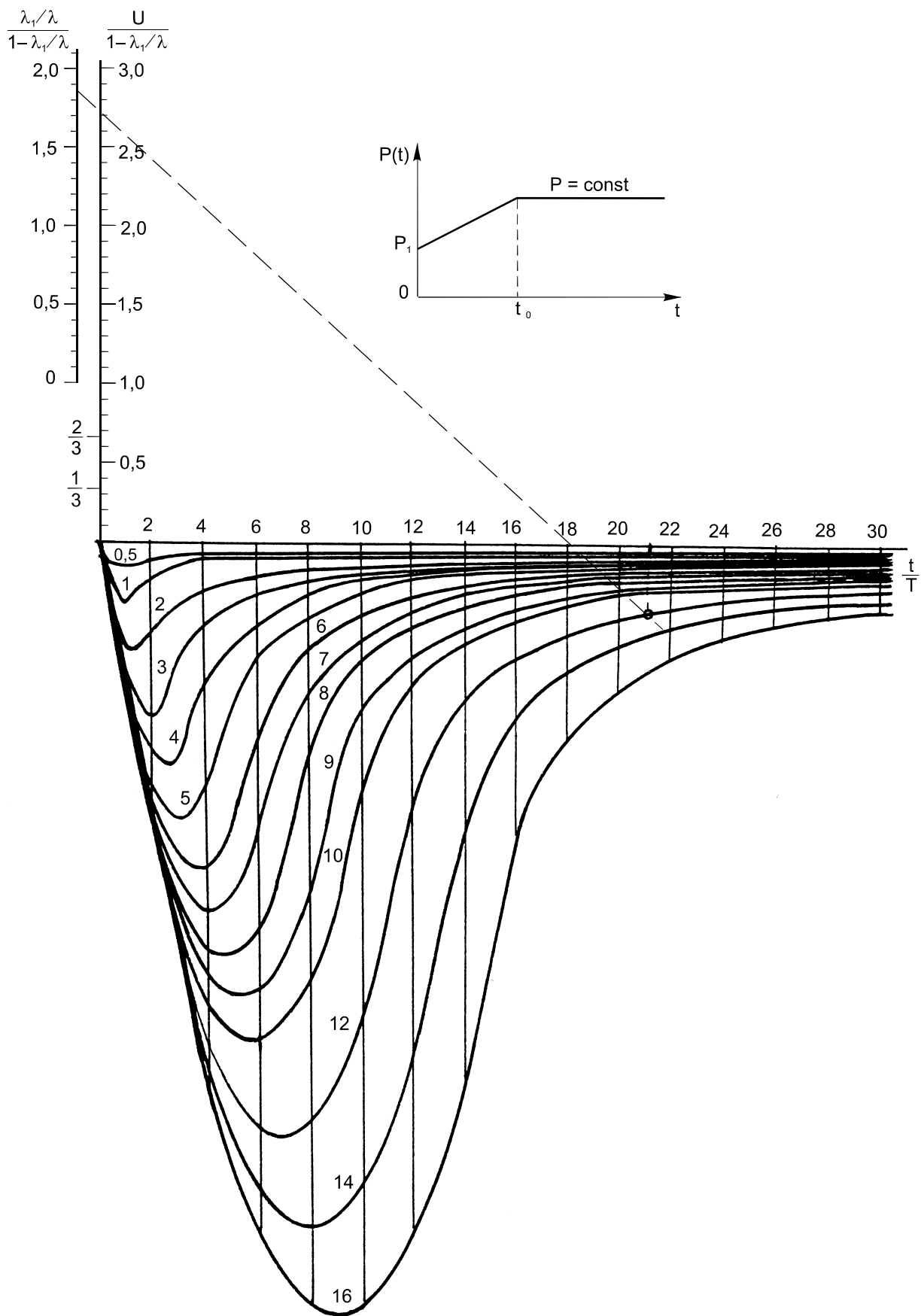


Рисунок 5.1 — Номограмма для расчёта продолжительности осадки (цифры на кривых — отношение t_0/T)

Установление сроков устройства дорожной одежды.

Сроки устройства дорожной одежды определяют расчетом в зависимости от требуемой степени консолидации (U) основания и уточняют в период строительства по данным результатов наблюдений за осадками основания. Требуемая степень консолидации основания перед устройством дорожной одежды приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Степень консолидации U

Расчетная осадка сжатия $S_{сж}$, см	Требуемая степень консолидации U для типа дорожной одежды			
	капитального	облегченного	переходного	низшего
До 30 включ.	0,90	0,85	0,80	0,75
Св. 30 “ 100 “	0,95	0,90	0,85	0,80
“ 100 “ 170 “	0,96	0,92	0,87	0,82
“ 170	0,98	0,95	0,90	0,85

Режим возведения насыпи (темп отсыпки) зависит от устойчивости основания. Для оснований I и ШБ типа по устойчивости скорость отсыпки не регламентируется, для оснований II и ША типа насыпь следует возводить постепенно (медленная отсыпка) в течение определяемого расчетом времени t , необходимого для упрочнения слабых грунтов в результате их консолидации.

При проведении расчетов необходимо соблюдать следующий **порядок расчета**:

а) назначают толщину насыпи (нагрузку P_I), которую можно отсыпать сразу (в один прием).

Нагрузку P_I определяют по формуле:

$$P_I = \rho_n * h_1, \quad (5.3)$$

где ρ_n — плотность грунта насыпи (в расчете корректируется $*10^{-2}$);

h_1 — толщина насыпи, отсыпaeмой сразу, которая определяется по формулам:

$$h_1 = \frac{\rho_{нач\ без}}{\rho_n} \quad \text{при} \quad \frac{\rho_{нач\ без}}{\rho_n} > S_{om}, \quad (5.4)$$

$$h_1 = S_{om} \quad \text{при} \quad \frac{\rho_{нач\ без}}{\rho_n} \leq S_{om}. \quad (5.5)$$

б) устанавливают продолжительность временного периода (t_0), в течение которого необходимо возводить насыпь до проектной толщины, чтобы основание успело приобрести необходимое упрочнение в процессе консолидации. Для этого определяют параметры: $\frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $\frac{U_0}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$.

Допускается принимать $K_1 = 1 - \lambda_1/\lambda_{расч} = 1 - P_1/P_{расч}$; $K_2 = \lambda_1/\lambda_{расч} = P_1/P_{расч}$ и U_0 по таблице 4.2 (где U_0 — степень консолидации основания, достигаемая в течение временного периода t_0).

Затем на вертикальных шкалах номограммы (рисунок 5.2 или 5.1) находят точки, отвечающие заданным значениям переменных $K_3 = K_2/K_1 = \frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $K_4 = U_0/K_1 = \frac{U_0}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$, и соединяют их линией путем наложения линейки. Точки пересечения этой линии со шкалами $\frac{t_0}{T}$ и $\frac{t}{T}$ при условии $\frac{t_0}{T} = \frac{t}{T}$ дают искомое значение $\frac{t_0}{T}$.

в) устанавливают длительность консолидации основания t , необходимую для достижения заданной степени консолидации U (таблица 5.1), позволяющей дальнейшее возведение дорожной одежды. Для этого по известным параметрам $K_3 = \frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$, $K_5 = U/K_1 = \frac{U}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $\frac{t_0}{T}$ по номограмме (см. рисунок 5.2 или 5.1) определяют искомый параметр $\frac{t}{T}$.

При значениях $\frac{t_0}{T}$, не превышающих 7, следует пользоваться номограммой, приведенной на рисунке 5.2, которая является деталью номограммы, изображенной на рисунке 5.1.

г) устанавливают допустимую интенсивность отсыпки насыпи q в расчете на месяц:

$$q = \frac{30(h_n - h_1)}{t_0}, \quad (5.6)$$

где h_n — толщина насыпи ($h + S_{общ}$), см ;

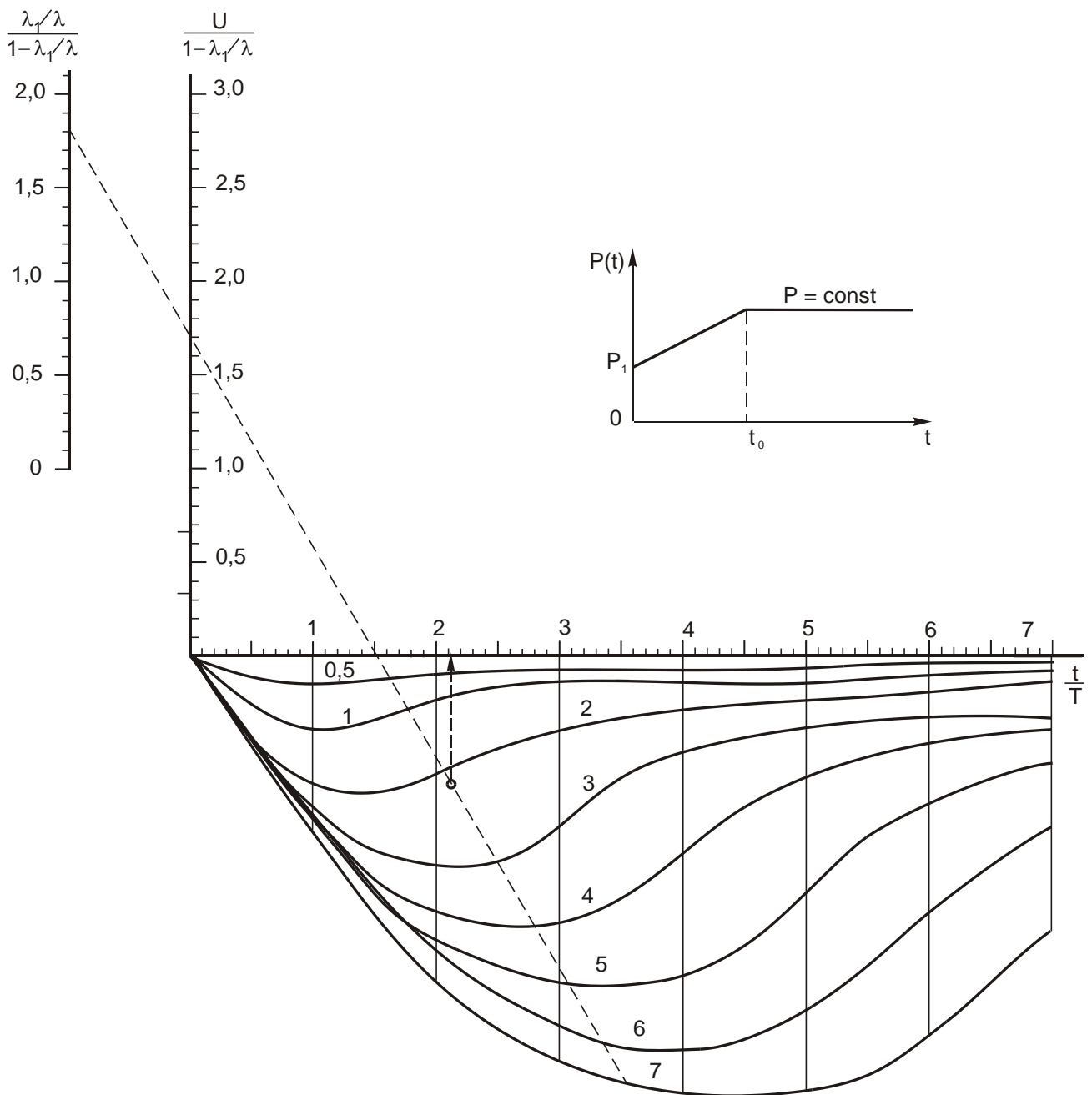


Рисунок 5.2 — Номограмма для расчёта продолжительности временного периода t_0 (цифры на кривых — отношение t_0/T)

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного **порядка расчета:**

1. Определение толщины насыпи (нагрузки P_1), которую можно отсыпать сразу (в один прием).

1.1 Определение толщина насыпи h_1 , отсыпаемой сразу.

2. Определение продолжительности временного периода (t_0), в течение которого необходимо возводить насыпь до проектной толщины исходя из условия обеспечения устойчивости основания.

2.1 Определение отношения $K_1 = 1 - \lambda_1 / \lambda_{расч} = 1 - P_1 / P_{расч}$; $K_2 = \lambda_1 / \lambda_{расч} = P_1 / P_{расч}$ и U_0 по таблице 4.2 (в зависимости от $\lambda_{сж}$).

2.2 Определение отношений $K_3 = K_2 / K_1 = \frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$ и $K_4 = U_0 / K_1 = \frac{U_0}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$.

2.3 Определение по номограмме (рисунок 5.2 или 5.1) значения $\frac{t_0}{T}$.

2.4 Определение консолидационного параметра T (сут) в зависимости от строительного типа слабого основания.

3. Определение длительности консолидации основания (t), необходимой для достижения заданной степени консолидации основания U , позволяющей производить устройство дорожной одежды капитального типа.

3.1 Определение U по таблице 5.1 (в зависимости от $S_{сж}$).

3.2 Определение отношений $K_3 = \frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$, $K_5 = U / K_1 = \frac{U}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$.

3.3 Определение по номограмме (рисунок 5.2 или 5.1) по известным параметрам $K_3 = \frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$, $K_5 = U / K_1 = \frac{U}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$, значения $\frac{t}{T}$.

4. Сравнение строительного срока ($t_{сmp}$) со временем необходимой консолидации (t).

5. Составление графика режима возведения насыпи на слабом основании во времени.

6. Определение скорости отсыпки насыпи в месяц.

Контрольные вопросы:

1. Как осуществляется возведение насыпи на слабом основании (основные этапы режима возведения)?
2. Какие параметры оказывают непосредственное влияние на скорость осадки насыпи?
3. Как определяется величина слоя, который может быть отсыпан сразу?
4. Какие параметры влияют на скорость отсыпки насыпи в пересчете на месяц?
5. Какие мероприятия применяются для ускорения осадки насыпи, возводимой на слабом основании?

6. РАСЧЕТ ВРЕМЕННОЙ ПРИГРУЗКИ

При строительстве дорог на болотных грунтах применяют следующие конструктивно-технологические решения временной пригрузки (рисунок 6.1):

— в виде дополнительного слоя насыпи на всю ширину земляного полотна — схема А;

— в виде суженной насыпи (насыпи - пригрузки) — схема Б.

При использовании схемы А грунт пригрузки после завершения консолидации используют на следующих участках дороги или в других элементах конструкции в соответствии с проектом организации строительства; при использовании схемы Б грунт распределяют на откосы.

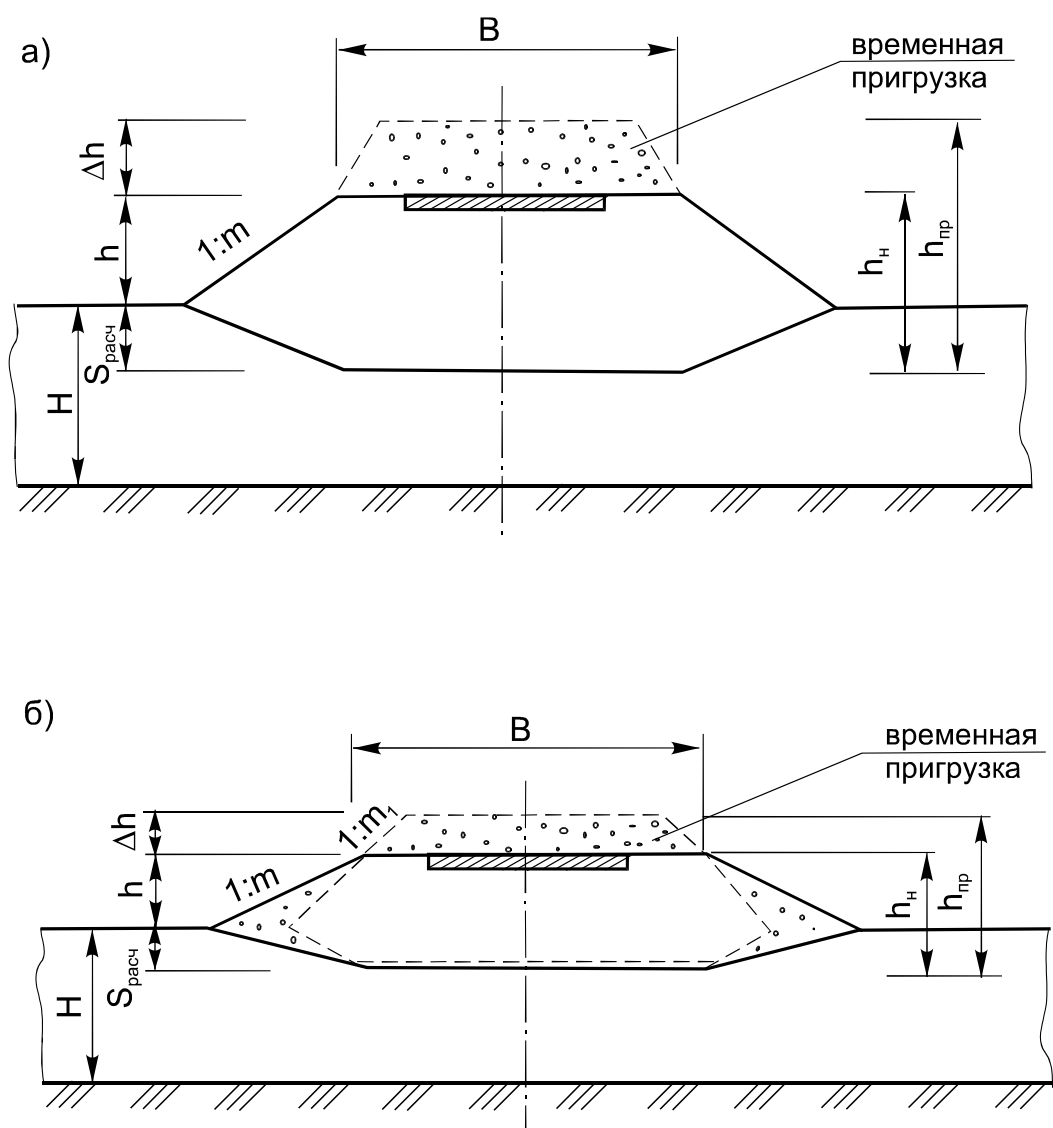


Рисунок 6.1 — Конструктивные решения земляного полотна с временной пригрузкой:

а — в виде дополнительного слоя насыпи — схема А;

б — в виде суженной насыпи (насыпь-пригрузка) — схема Б

Толщина слоя временной пригрузки принимается исходя из требуемых сроков достижения заданной степени консолидации при одновременном обеспечении устойчивости основания.

Следует соблюдать следующий **порядок расчета**:

а) определяют величину временной пригрузки ΔP для схемы А по формуле

$$\Delta P = d * P_{расч}, \quad (6.1)$$

где d — коэффициент пригрузки, минимальное значение которого следует принимать по рисунку 6.2, окончательное значение принимается после корректировки на соотношение $(t/t_{стр})$.

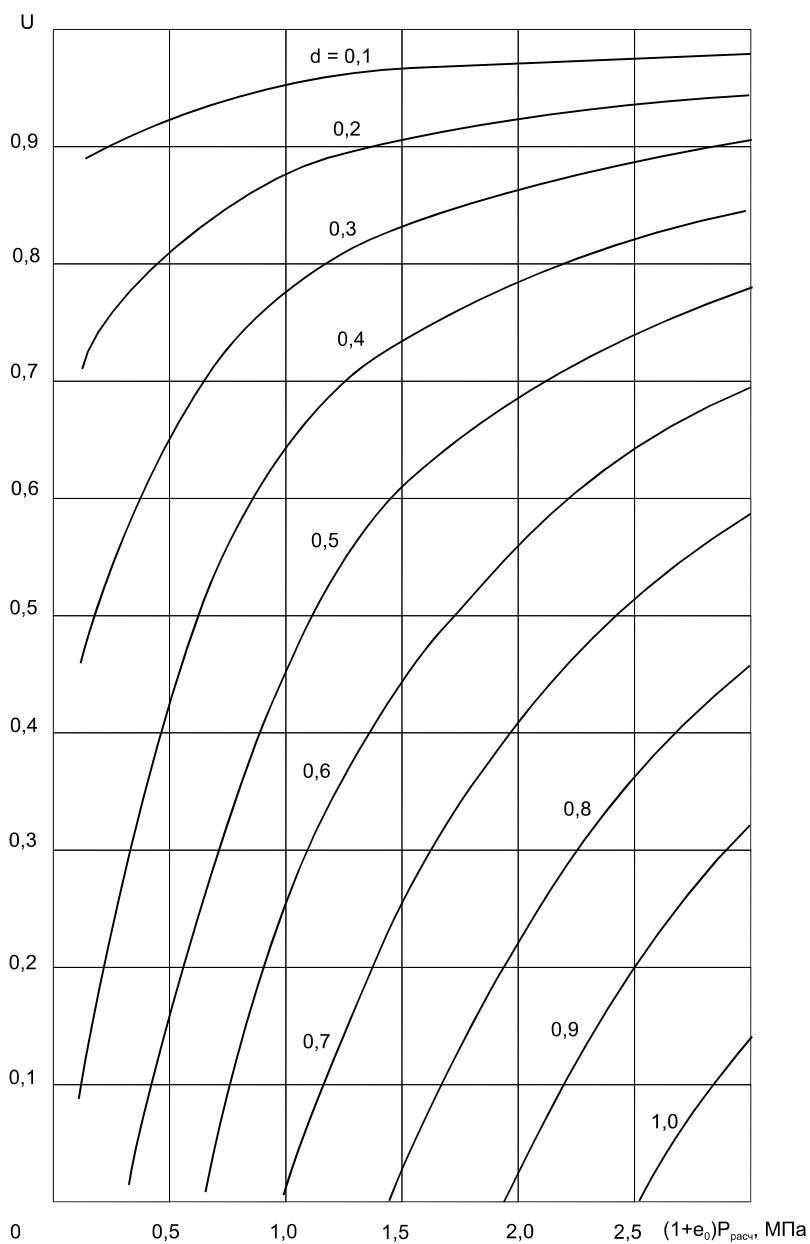


Рисунок 6.2 — График для определения минимального коэффициента пригрузки

б) коэффициент пригрузки d для пригрузки, выполняемой по схеме Б, определяют методом последовательного приближения в зависимости от требуемых сроков консолидации основания по формуле:

$$d = \frac{2h}{B} (m - m_1), \quad (6.2)$$

где h — высота проектируемой насыпи, м;

B — ширина проектируемой насыпи поверху, м;

m — показатель крутизны заложения откоса проектируемой насыпи;

m_1 — показатель крутизны заложения откоса суженной насыпи (насыпи-пригрузки).

При проектировании насыпи-пригрузки варьирование значений крутизны откосов осуществляют в пределах: (m) от 1,5 до 4,0; (m_1) от 1 до 2.

Коэффициенты пригрузки d , вычисленные по формуле (6.2), должны быть не менее минимальных значений, полученных из графика на рисунке 6.2. В противном случае пригрузка по схеме Б неэффективна, и для получения требуемого коэффициента пригрузки необходимо применять временную пригрузку по схеме А.

Минимальное значение коэффициента пригрузки – 0,3.

в) определяют консолидационный параметр (T_{np}) для насыпи с пригрузкой по формулам (5.1) или (5.2). При этом параметры λ , P и $S_{сж}$ для насыпи с пригрузкой вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} S_{сж\ np} &= S_{сж\ расч} (1 + bd), \\ \lambda_{сж\ np} &= \lambda_{сж\ расч} (1 + bd), \\ P_{np} &= P_{расч} (1 + d). \end{aligned} \quad (6.3)$$

В формулах b — безразмерный коэффициент, определяемый по формуле:

$$b = 1 / (1 + 1,52 (1 + e_0) P_{расч}), \quad (6.4)$$

где $P_{расч}$ — расчетная нагрузка на основание, МПа;

e_0 — средневзвешенное значение коэффициента пористости основания (в процентах).

г) проверяют устойчивость слабого основания при возведении насыпи с временной пригрузкой. Коэффициент безопасности основания вычисляют по формуле:

$$K_{\text{без пр}}^{\text{кон}} = \frac{P_{\text{без}}^{\text{нач}}}{P_{\text{пр}} \times (1 - U_0 \lambda_{\text{сж пр}})^3}, \quad (6.5)$$

где U_0 — степень консолидации основания, достигаемая за время временного периода t_0 . Определяется по таблице 4.2 в зависимости от величины $\lambda_{\text{сж пр}}$.

Далее производится расчет осадки насыпи с пригрузкой во времени согласно работе № 5.

а) назначают толщину насыпи h_1 и нагрузку P_1 из расчетов пункта 5.

б) определяют параметры: $K_3 = K_2/K_1 = \frac{\lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}{1 - \lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}$ и $K_4 = U_0/K_1 = \frac{U_0}{1 - \lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}$.

Принимают $1 - \lambda_1/\lambda_{\text{пр}} = P_1/P_{\text{пр}}$ и U_0 по таблице 4.2 (где U_0 — степень консолидации основания, достигаемая в течение временного периода t_0).

Затем на вертикальных шкалах номограммы (рисунок 5.2 или 5.1) находят

точки, отвечающие заданным значениям переменных: $K_3 = K_2/K_1 = \frac{\lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}{1 - \lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}$ и

$K_4 = U_0/K_1 = \frac{U_0}{1 - \lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}$, и соединяют их линией путем наложения линейки. Точки

пересечения этой линии со шкалами $\frac{t_0}{T}$ и $\frac{t}{T}$ при условии $\frac{t_0}{T} = \frac{t}{T}$ дают искомое

значение $\frac{t_0}{T}$.

в) устанавливают длительность консолидации основания t , необходимую для достижения заданной степени консолидации $U_{\text{пр}}$:

$$U_{\text{пр}} = U * S_{\text{сж}} / S_{\text{сж пр}}, \quad (6.6)$$

Для этого по известным параметрам $K_3 = \frac{\lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}{1 - \lambda_1/\lambda_{\text{расч}}}$, $K_5 = U_{\text{пр}}/K_1 = \frac{U_{\text{пр}}}{1 - \lambda_1/\lambda_{\text{пр}}}$ и $\frac{t_0}{T}$ по

номограмме (см. рисунок 5.2 или 5.1) определяют искомый параметр $\frac{t}{T}$.

Определяем толщину слоя временной пригрузки: $\Delta h = d * h_n$.

Интенсивность отсыпки насыпи q в расчете на месяц составит:

$$q = \frac{30(h_n + \Delta h - h_1)}{t_0}.$$

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного **порядка расчета**:

1. Определение величину временной пригрузки ΔP .

1.1 Определение коэффициента перегрузки d для схемы А, минимальное значение которого следует принимать по рисунку 6.2 (из графика получаем минимальное значение коэффициента пригрузки, которое необходимо увеличивать в зависимости от отношения $(t/t_{стр})$).

1.2 Определение коэффициента пригрузки d , выполняемой по схеме Б по формуле 6.2.

2. Определение консолидационного параметра (T_{np}) для насыпи с пригрузкой по формулам (5.1) или (5.2). При этом параметры $\lambda_{сж}$, P и $S_{сж}$ для насыпи с пригрузкой вычисляются с учетом коэффициентов d и b .

2.1 Определение коэффициента b .

3. Определение коэффициента безопасности основания с учетом его упрочнения при медленной отсыпке насыпи с пригрузкой.

4. Определение режима возведения насыпи с пригрузкой (аналогично с работой №5):

4.1 Принимаем значения начальной толщины отсыпаемого слоя h_1 и нагрузки P_1 из предыдущей работы.

4.2 Определение U_0 по таблице 4.2 (в зависимости от $\lambda_{сж np}$).

4.3 Определение отношений: $K_3 = K_2/K_1 = \frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $K_4 = U_0/K_1 = \frac{U_0}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$.

4.4 Определение по номограмме (рисунок 5.2 или 5.1) по известным параметрам: $K_3 = K_2/K_1 = \frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $K_4 = U_0/K_1 = \frac{U_0}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$, значения $\frac{t_0}{T}$ и t_0 .

5. Определение длительности консолидации t насыпи с временной пригрузкой.

5.1 Определение требуемой степени консолидации U_{np} насыпи с пригрузкой.

5.2 Определение параметров $K_3 = \frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$, $K_5 = U_{np}/K_1 = \frac{U_{np}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$.

5.3 Определение по номограмме 5.1 или 5.2 необходимого времени консолидации основания (t), необходимой для достижения заданной степени

консолидации основания U_{np} , позволяющей производить устройство дорожной одежды капитального типа с учетом временной пригрузки насыпи.

6. Определение толщины слоя временной пригрузки Δh .

7. Определение интенсивности отсыпки насыпи q в месяц.

8. Составление графика режима возведения насыпи на слабом основании во времени с использованием метода временной пригрузки.

Контрольные вопросы:

Какие технологические схемы возведения насыпи с пригрузкой существуют в практике дорожного строительства?

Как определяется эффективность временной пригрузки как метода ускорения осадки?

Какое влияние оказывают характеристики слабого основания на выбор технологической схемы временной пригрузки?

Как находят окончательную степень консолидации U_{np} ?

Как связаны параметры интенсивность отсыпки насыпи в месяц q и толщины слоя временной пригрузки Δh ?

7. УСКОРЕНИЕ ОСАДКИ ПУТЕМ ЧАСТИЧНОГО ВЫТОРФОВЫВАНИЯ И ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕН И ДРЕНАЖНЫХ ПРОРЕЗЕЙ

Определение глубины частичного выторфовывания.

Величина выторфовывания определяется:

$$h_{\text{выт}} = H \left(1 - \sqrt{\frac{t_{\text{стр}}}{t}} \right), \quad (7.1)$$

где H – общая толщина торфа (глубина болота), м;

$t_{\text{стр}}$ – срок строительства, по заданию;

t – необходимое время осадки, рассчитанное в пункте 5.

Определение геометрических параметров вертикальных дрен и дренажных прорезей.

Вертикальное дренирование основания земляного полотна проводится с целью ускорения консолидации грунтов основания, повышения их устойчивости и снижения упругих осадок.

Ускорение консолидации основания вертикальными дренами или дренажными прорезями происходит за счет значительного сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из грунтовой массы при уплотнении весом насыпи. Вертикальные дренаи позволяют ускорить осадку по сравнению с плавающей насыпью в десятки раз.

Вертикальные дренаи или дренажные прорези быстро снимают напор, возникающий в порах водонасыщенного грунта после приложения внешней нагрузки. Поэтому сопротивление сдвигу основания с дренами возрастает значительно быстрее, чем без дренирования.

Вертикальные дренаи или дренажные прорези изменяют общую упругость массы болотного грунта, поэтому упругие просадки на поверхности земляного полотна с вертикальными дренами примерно в 3 раза ниже, чем без дрен.

Вертикальные дренаи устраивают в слабых водонасыщенных грунтах с целью ускорения консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи при консолидации. Вертикальные дренаи способствуют ускорению уплотнения слабого грунта с соответствующим повышением его сопротивляемости сдвигу, поэтому их можно устраивать также в целях повышения устойчивости основания.

Вертикальные дренаи эффективны в водонасыщенных органических и минеральных сильносжимаемых грунтах мощностью не менее 4 м с коэффициентом фильтрации не менее $1 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Устраивать вертикальные дренаи в плотных глинистых грунтах, а также в малоразложившемся

неуплотненном слое торфа нецелесообразно. Эффективность дрен повышается в случаях, когда дренируемая толща имеет более высокую горизонтальную проницаемость, например вследствие наличия прослоек дренирующего грунта.

Вертикальные дрены выполняют в виде скважин, заполняемых песком. **Диаметр скважин** должен быть от 40 до 60 см с учетом технических параметров применяемого оборудования. Для заполнения вертикальных дрен применяют песок с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут.

Эффективность вертикальных дрен значительно повышается при добавке к материалу заполнения 5 - 18 % (по массе) извести. При применении вертикальных дрен насыпь или ее нижнюю часть толщиной не менее 50 см следует устраивать из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

В зависимости от водопроницаемости грунта и требуемого срока стабилизации осадки **расстояние между дренами** изменяется от 2 до 4,5 м.

Предварительная оценка влияния вертикальных дрен (дренажных прорезей) на срок стабилизации осадки определяется из выражения:

$$t_{др} = \frac{t_{стр} \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}{H_{\phi}^2}, \quad (7.2)$$

где $t_{стр}$ – срок строительства, по заданию;

l – расстояние между дренами (прорезями), м;

H_{ϕ} – расчетный путь фильтрации воды, отжимаемой из уплотняемого слоя при отсутствии дрен, принимаемый равным фактической мощности слабой толщи (при ее одностороннем дренировании) или половине этой мощности (при двухстороннем дренировании).

Для проверки правильности назначенных расстояний между дренами или прорезями рассчитывается степень консолидации основания:

$$U_{общ} = 100 - 0,01 * (100 - U_г) * (100 - U_в), \quad (7.3)$$

где $U_г$, $U_в$ – коэффициенты консолидации при выжимании воды в горизонтальном и вертикальном направлении соответственно, определяются по графику (рисунок 7.1 а, б) в зависимости от соотношения $n = l/d$ и факторов времени $T_{гор}$ и $T_{верт}$.

Полученное значение $U_{общ}$ сравнивают с U (таблица 5.1). Если отклонение не превышает 5% принятое расстояние между дренами и диаметр дрен (расстояние между дренажными прорезями и их ширина) закладываются в проект.

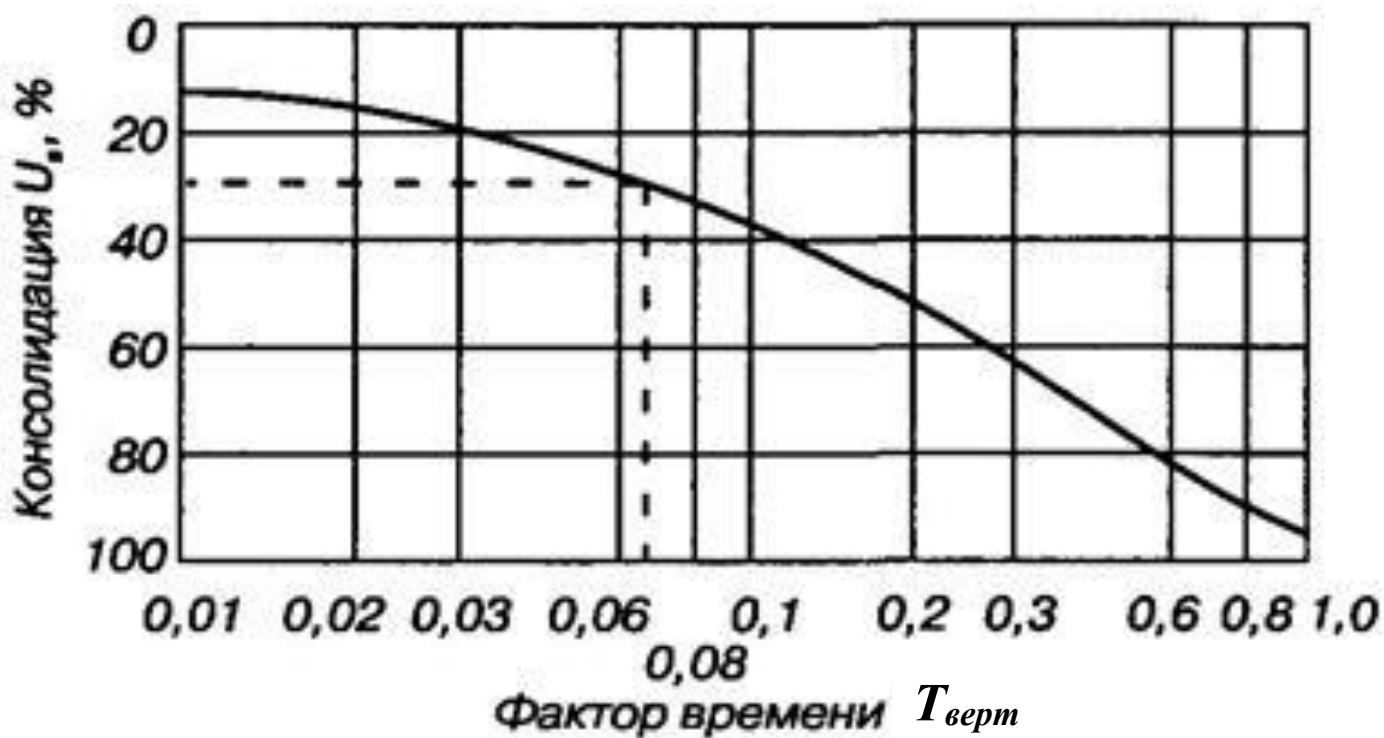


Рисунок 7.1 График для определения степени консолидации слоя водонасыщенного грунта с вертикальными дренами:
 а – при вертикальной фильтрации;
 б – при горизонтальной фильтрации.

Факторы времени рассчитываются по следующим формулам:

$$T_{гор} = \frac{K_{\phi}^{cp \text{ вЗВ}} \cdot (1+e_o)}{\Delta a \cdot l^2} \cdot t_{стр}, \quad (7.4)$$

$$T_{верт} = \frac{K_{\phi}^{cp \text{ вЗВ}} \cdot (1+e_o)}{\Delta a \cdot H_{\phi}^2} \cdot t_{стр}, \quad (7.5)$$

где $K_{\phi}^{cp \text{ вЗВ}}$ – средневзвешенное значение коэффициента фильтрации слабой толщи, определяемое в зависимости от фильтрационных свойств каждого слоя слабого торфяного основания, м/сут определяется исходя из значения степени разложения торфа (R , %) в зависимости от величины нагрузки на слабое основание от веса возводимой насыпи $P_{расч}$ (в МПа) в соответствии с таблицей 7.1;

Таблица 7.1

Значения коэффициента фильтрации K_{ϕ} различных видов торфа в зависимости от нагрузки $P_{расч}$

Вид торфа по степени разложения R , %	Коэффициент фильтрации K_{ϕ} , м/сут при нагрузках $P_{расч}$, МПа			
	0,025	0,050	0,075	0,100
Степень разложения < 25	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$	$3,00 \cdot 10^{-2}$	$4,00 \cdot 10^{-2}$
Степень разложения 25 - 40	$0,15 \cdot 10^{-2}$	$0,45 \cdot 10^{-2}$	$0,75 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Степень разложения >40	$0,01 \cdot 10^{-2}$	$0,06 \cdot 10^{-2}$	$0,11 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \cdot 10^{-2}$

e_o – средневзвешенная пористость торфяной толщи, в %;

H – мощность слабого основания, м;

Δa – параметр консолидационной кривой, в расчет принимается значение 30;

l – расстояние между дренами, м;

H_{ϕ} – расчетный путь фильтрации воды, отжимаемой из уплотняемого слоя при отсутствии дрена, принимаемый равным фактической мощности слабой толщи (при ее одностороннем дренировании) или половине этой мощности (при двухстороннем дренировании), м;

$t_{стр}$ – срок строительства (по заданию), в сутках.

Упрощенной разновидностью вертикального дренирования являются **продольные дренажные прорези**. Их устройство целесообразно при мощности слабого слоя до 4 м и возможности сохранения в слабом грунте вертикальных откосов в течение времени, необходимого для заполнения прорези дренирующим грунтом.

Расстояние между дренажными прорезями ориентировочно назначают в пределах 1,5 - 3 м и проверяют расчетом. Ширина прорезей назначается в зависимости от параметров рабочего органа применяемого оборудования и составляет обычно 0,6 - 1 м.

Для заполнения прорезей используют песок, с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

Расчет дренажных прорезей выполняется по аналогии с расчетом вертикальных, но для определения степени консолидации при горизонтальной фильтрации используется график, приведенные на рисунке 7.2, где величина U_2 дана в зависимости от величины $T_{гор}$ для различных значений l/H (где l – расстояние между боковыми поверхностями прорезей, H – мощность слабого основания).

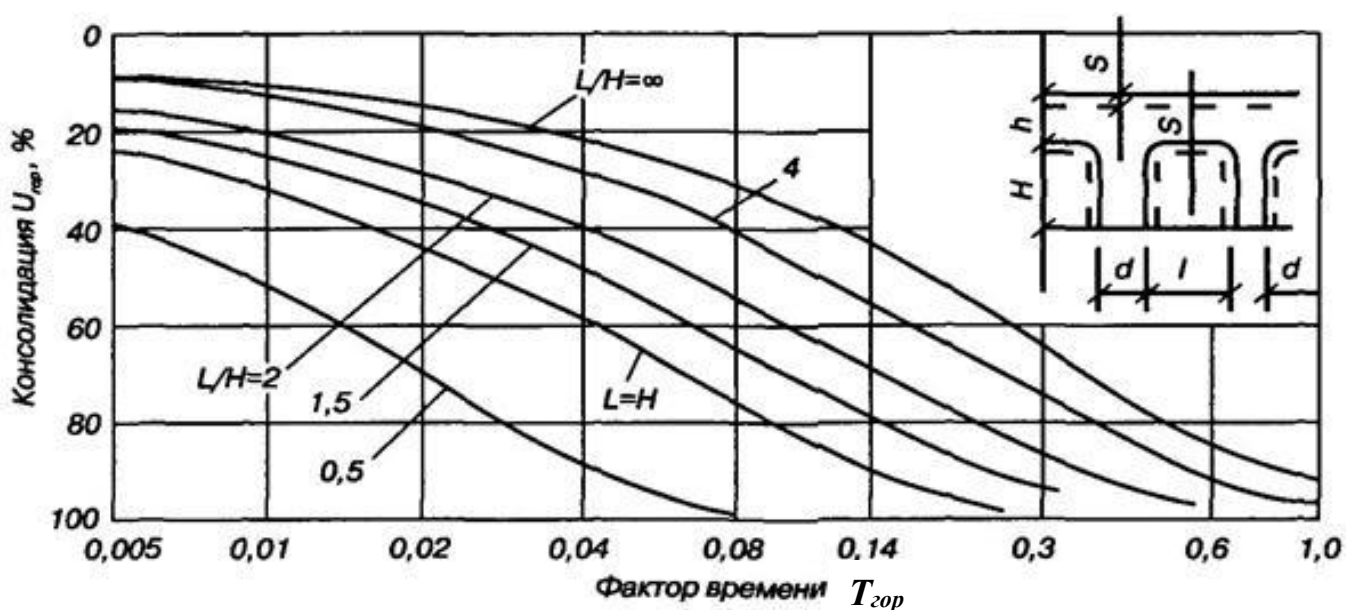


Рисунок 7.2 График для определения консолидации слоя водонасыщенного грунта с дренажными прорезями

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться определенного **порядка расчета**:

1. Определение величины частичного выторфовывания.
2. Определение параметров устройства вертикальных дрен и дренажных прорезей.

2.1 Назначение диаметра d и шага l дрен или дренажных прорезей, определение соотношения $n = l/d$.

2.2 Определение средневзвешенного значения коэффициента фильтрации $K^{ср\ 63в}_ф$ слабого основания.

2.3 Определение факторов времени $T_{гор}$ и $T_{верт}$.

2.4 Определение коэффициентов консолидации при выжимании воды U_z и U_e по номограммам 7.1 а, б; (номограмма 7.2).

2.5 Определение степени консолидации $U_{общ}$ и проверка правильности назначенных геометрических параметров дрен или дренажных прорезей.

2.6 Предварительная оценка влияния дрен (дренажных прорезей) на срок стабилизации осадки насыпи.

3. Конструкция насыпи на слабом основании с частичным выторфовыванием (выполнить чертеж в соответствующем масштабе).

4. Конструкция насыпи на слабом основании с дренажными прорезями или вертикальными дренами (выполнить чертеж в соответствующем масштабе).

Контрольные вопросы:

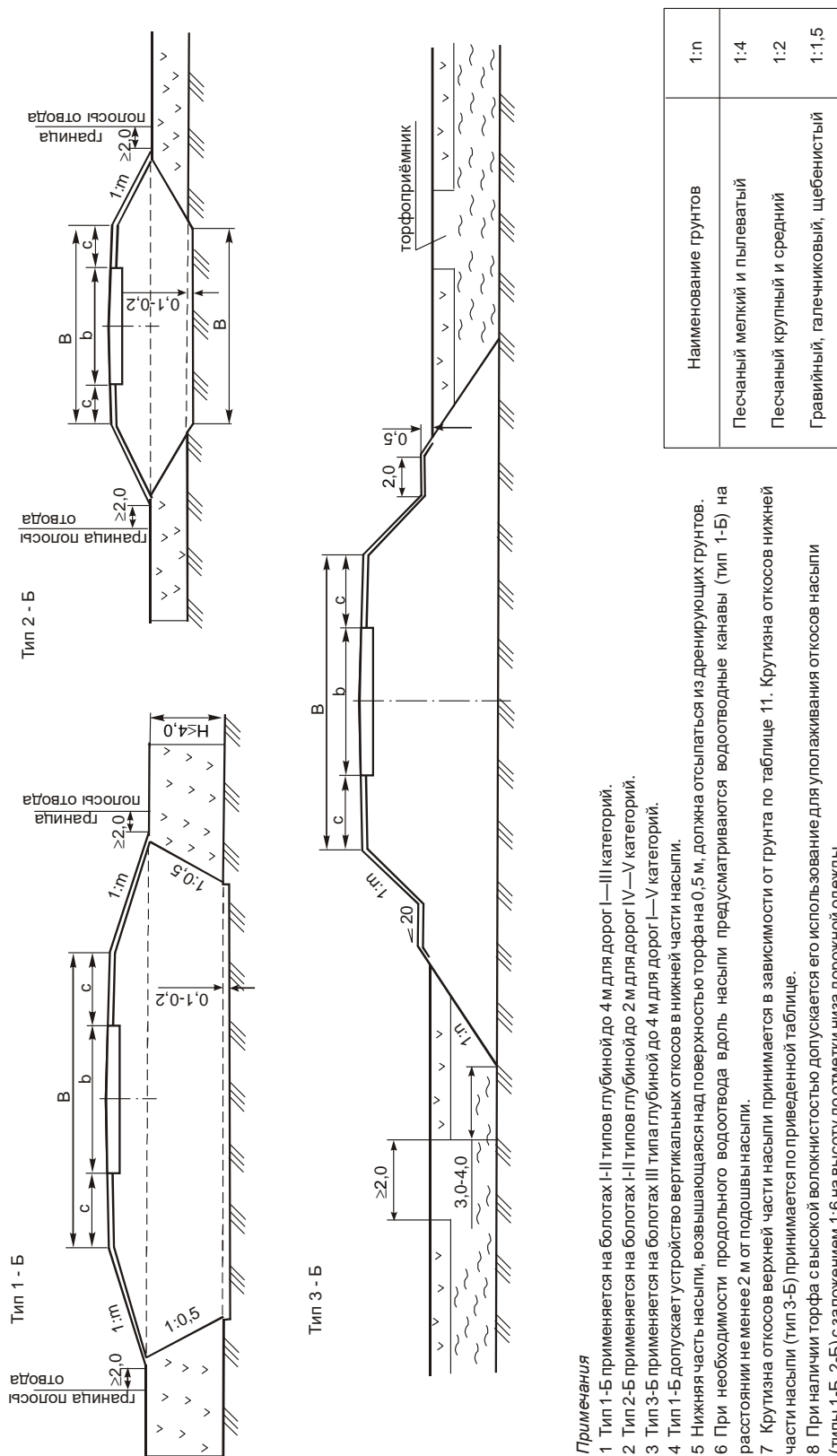
1. Цель устройства вертикальных дрен (дренажных прорезей).
2. От чего зависит глубина выторфовывания?
3. От чего зависят геометрические размеры вертикальных дрен (дренажных прорезей)?
4. Какие параметры слабого основания (торфяного) оказывают влияние на эффективность применения вертикальных дрен (дренажных прорезей)?
5. От чего зависит расчетный путь фильтрации при консолидации слабого основания?

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог : в 2 книгах. / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – Книга 2. – Москва : Высшая школа, 2010. – 519 с.
2. Бабаскин Ю.Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог : Курс лекций / Ю.Г. Бабаскин. – Мн.: БНТУ, 2002. – 197 с.
3. ТКП 200-2018 «Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования». Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – Мн.: 2018. – 198 с.
4. ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования». Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.: 2006. – 68 с.
5. ТКП 45-3.03-112-2008 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования». Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.: 2008. – 108 с.
6. СТБ 943-2007 «Грунты. Классификация». Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. – Мн.:2007. – 28 с.
7. Физико-механические свойства заторфованных грунтов Камской долины г. Перми и их изменение в результате действия пригрузки : сб.ст. / Вестник пермского университета 11(37) под ред. М.Ш. Димухаметов, Д.М. Димухаметов – Пермь, 2009. – 94–106 с.
8. Применение вертикальных дрен при уплотнении слабых водонасыщенных грунтов : сб.ст. / Интеллектуальные системы в производстве 1(23) под ред. А.А. Кисляков, В.П. Грахов, Ю.Г. Кислякова – Ижевск, 2014. – 124–126 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Конструкции земляного полотна, применяемые при возведении насыпей на слабом (торфяном) основании

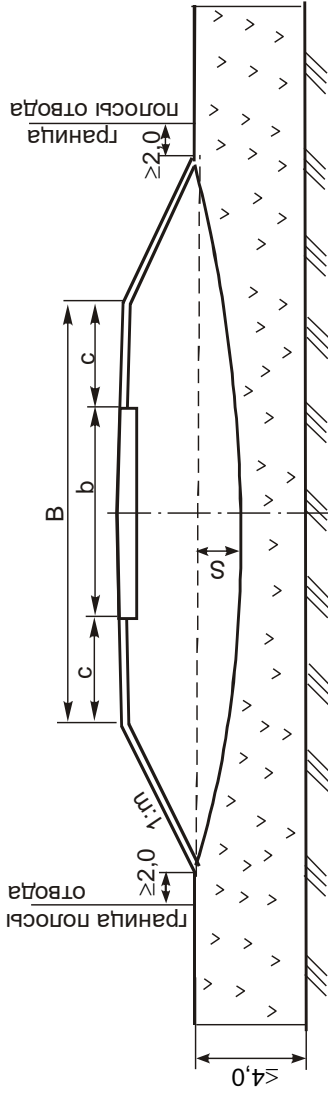


Применения

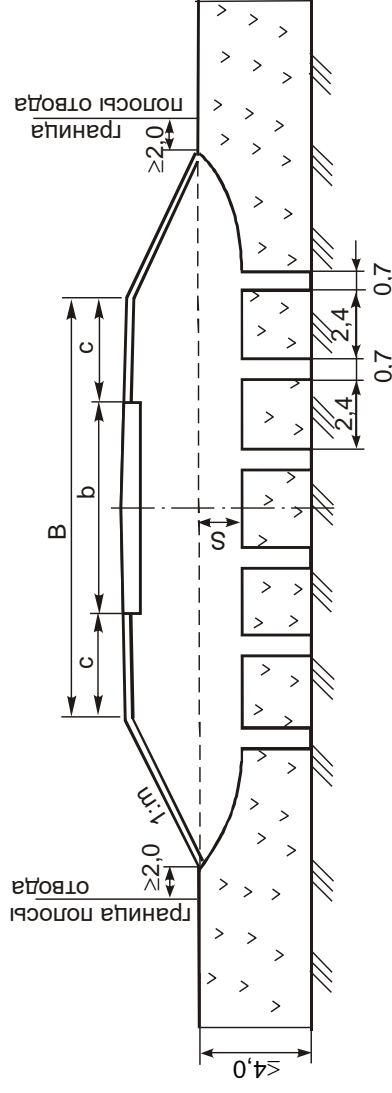
- 1 Тип 1-Б применяется на болотах I-II типов глубиной до 4 м для дорог I—III категорий.
- 2 Тип 2-Б применяется на болотах I-II типов глубиной до 2 м для дорог IV—V категорий.
- 3 Тип 3-Б применяется на болотах III типа глубиной до 4 м для дорог I—V категорий.
- 4 Тип 1-Б допускает устройство вертикальных откосов в нижней части насыпи.
- 5 Нижняя часть насыпи, возвышающаяся над поверхностью торфа на 0,5 м, должна отсыпаться из дренирующих грунтов.
- 6 При необходимости продольного водоотвода вдоль насыпи предусматриваются водоотводные канавы (тип 1-Б) на расстоянии не менее 2 м от подошвы насыпи.
- 7 Крутизна откосов верхней части насыпи принимается в зависимости от грунта по таблице 11. Крутизна откосов нижней части насыпи (тип 3-Б) принимается по приведенной таблице.
- 8 При наличии торфа с высокой волокнистостью допускается его использование для упрочивания откосов насыпи (типы 1-Б, 2-Б) с заложением 1:6 на высоту до отметки низа дорожной одежды.

Рисунок А.1 – Насыпи на болотах с полным выгорфовыванием с погружением на минеральное дно болота

Тип 4 - Б



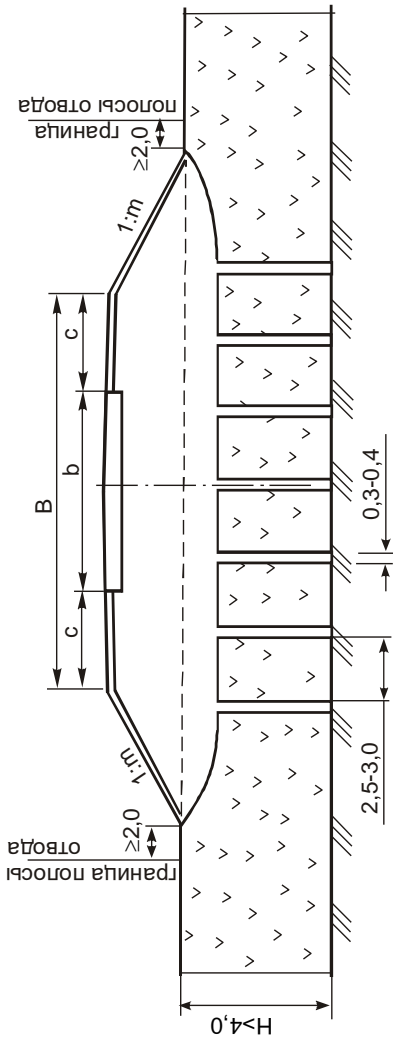
Тип 5 - Б



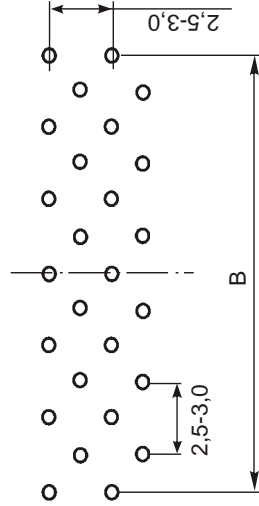
Примечания

- 1 Тип 4-Б применяется на болотах I и II типов для дорог II—V категорий при высоте насыпи до 3 м.
- 2 Тип 5-Б применяется на болотах I типа для дорог III—V категорий при высоте насыпи до 3 м.
- 3 Величина осадки (S) и скорость консолидации определяется расчётом.
- 4 Крутизна откосов насыпи принимается в зависимости от высоты насыпи и грунтов, из которых она проектируется, в соответствии с таблицей 11.
- 5 Нижняя часть насыпи проектируется из дренирующих грунтов, толщина дренирующего слоя должна быть на 0,5 м больше расчётной осадки.
- 6 Ширина прорезей (тип 5-Б) и расстояние между ними приняты из расчёта стабилизации осадки основания за 4—6 мес.
- 7 Продольные прорези должны заполняться крупным или средним песчаным грунтом с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.
- 8 При глубине болот более 4 м величина осадки, ширина прорезей и расстояние между ними определяются расчётом.

Рисунок А.2 – Насыпи на болотах I—II типов без выгорфовывания и с продольными прорезями на болотах I типа



План расположения дрен (насыпь не показана)

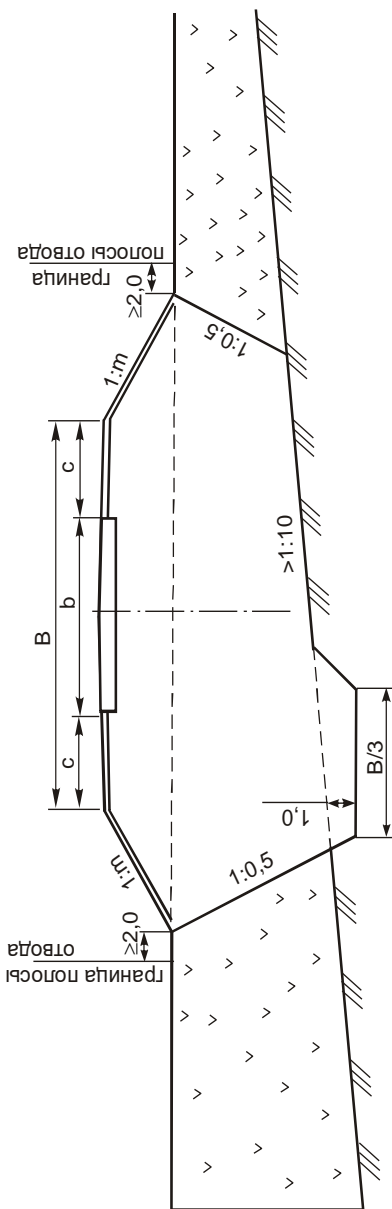


Примечания

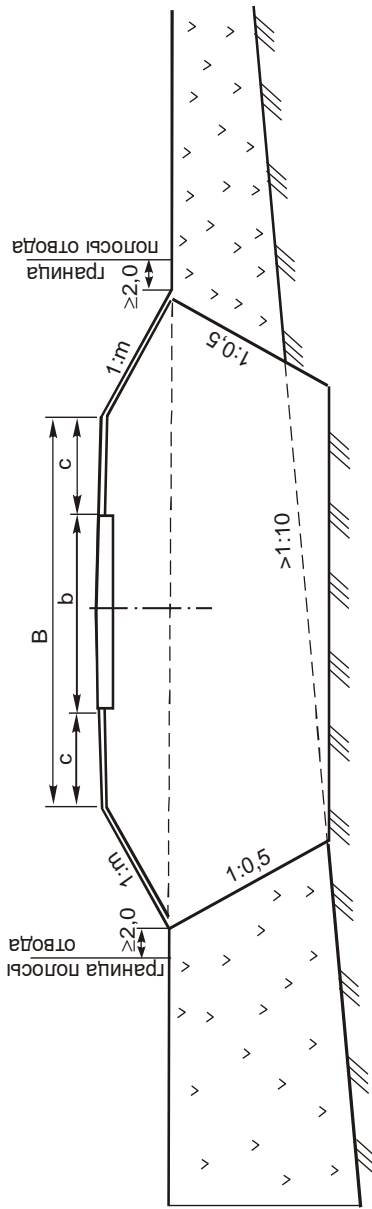
- 1 Тип 6-Б применяется на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог III—V категорий с высотой насыпи до 3 м.
- 2 Вертикальные дрены устраиваются с расчётом срока консолидации основания 4—6 мес.
- 3 Дрены устраиваются из песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут. Эффективность дрен повышается при добавлении к грунту 5—15 % (по массе) извести. Нижнюю часть насыпи необходимо устраивать на толщину не менее 0,5 м из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.
- 4 Крутизна откосов насыпи принимается в зависимости от её высоты и вида грунтов, из которых насыпь проектируется, в соответствии с ТКП 45-3.03-19.
- 5 При необходимости устройства продольного водоотвода, канавы вдоль насыпи устраиваются на расстоянии не менее 2 м от её подошвы.
- 6 При высоте насыпи более 3 м конструкция земляного полотна разрабатывается на основе индивидуального расчёта.

Рисунок А.3 – Насыпь на болоте с вертикальными дренами

Тип 7 - Б



Тип 8 - Б

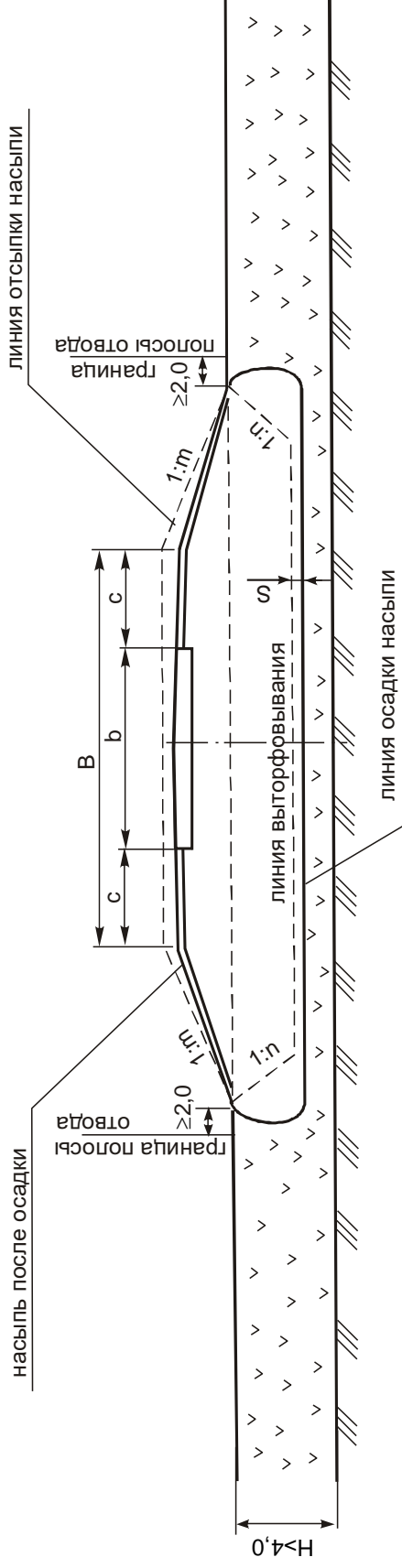


Примечания

- 1 Тип 7-Б применяется для дорог I—V категорий при поперечном уклоне дна болот I и II типов более 1:10 с песчаным или супесчаным подстилающим слоем.
- 2 Тип 8-Б применяется для дорог I—V категорий при поперечном уклоне дна болот I и II типов более 1:10 с подстилающим слоем из глинистых грунтов. На дорогах I—III категорий разработку минерального дна разрешается проектировать уступами высотой 1,5 м.
- 3 Насыпь в её нижней части проектируется из дренирующих грунтов высотой на 0,5 м выше поверхности болота.
- 4 Крутизна откосов верхней части насыпи принимается в зависимости от высоты насыпи и грунта, из которого она проектируется, в соответствии с ТКП 45-3.03-19.
- 5 При необходимости устройства продольного водоотвода канавы вдоль насыпи устраивают на расстоянии не менее 2 м от её подошвы.
- 6 При наличии торфа с высокой волокнистостью допускается его использование для упрочивания откосов насыпи с заложением 1:6 на высоту отметки низа дорожной одежды.

Рисунок А.4 – Насыпи на болотах споперечным уклоном 1:10

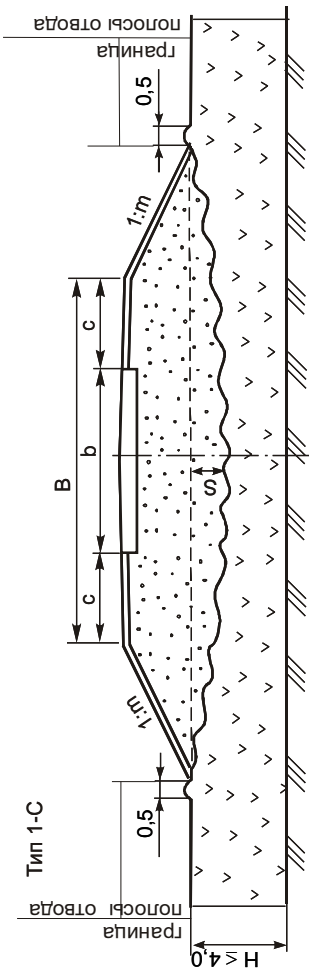
Тип 9-Б



Примечания

- 1 Тип 9-Б применяется на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог III—V категорий с высотой насыпи до 3 м.
- 2 Толщина оставшегося слоя торфа, с учётом его обжатия, должна быть не более 1/3 мощности минеральной части насыпи на дорогах III категории и не более 1/2 — на дорогах IV—V категорий.
- 3 При проектировании выторфовывания следует стремиться к повышению устойчивости земляного полотна за счёт создания более крутых откосов в торфе (1:n). Заложение откосов (1:n) при выторфовывании определяется путём проходки пробного шурфа с вертикальными стенками. Если вертикальный откос в данном пласте торфа удерживается не менее 3 сут, в проекте предусматриваются вертикальные стенки. В противном случае проектируются более пологие откосы.
- 4 Крутизна откосов в верхней части насыпи принимается в зависимости от грунта, из которого она проектируется, в соответствии с таблицей 11.
- 5 Нижнюю часть насыпи на болотах проектируют из дренирующего слоя, толщина дренирующего слоя должна быть на 0,5 м больше суммы значений расчётной осадки и глубины выторфовывания.
- 6 При необходимости устройства продольного водоотвода, канавы вдоль насыпи устраиваются на расстоянии не менее 2 м от её подошвы.
- 7 Осадка оставшегося слоя торфа определяется расчётом. Покрытие устраивается после завершения расчётной осадки.
- 8 Торф высокой волокнистости можно использовать для уположения откосов насыпи с заложением 1:6, на высоту до отметки низа дорожной одежды.

Рисунок А.5 – Насыпи на болотах I и II типов с частичным выторфовыванием



Расход геотекстиля на 1,0 м земляного полотна, м²

Ширина земляного полотна В, м	Высота насыпи М	Величина осадки S, м											
		S = 0,5						S = 1,0					
		Крутизна откосов, 1:m											
		1:1,5	1:1,75	1:2	1:2,5	1:3	1:4	1:1,5	1:1,75	1:2	1:2,5	1:3	1:4
6,0	1,0	—	—	—	—	14,4	—	—	—	—	—	14,6	—
10,0	1,0	—	—	—	—	18,8	—	—	—	—	—	18,9	—
12,0	1,0	—	—	—	—	—	23,2	—	—	—	—	—	23,3
15,0	1,0	—	—	—	—	—	26,4	—	—	—	—	—	26,5
28,0	1,0	—	—	—	—	—	39,6	—	—	—	—	—	39,7
6,0	2,0	—	—	—	—	21,0	—	—	—	—	—	21,1	—
10,0	2,0	—	—	—	—	25,4	—	—	—	—	—	25,5	—
12,0	2,0	—	—	—	—	—	32,0	—	—	—	—	—	31,3
15,0	2,0	—	—	—	—	—	35,3	—	—	—	—	—	35,6
28,0	2,0	—	—	—	—	—	48,0	—	—	—	—	—	48,5
6,0	3,0	17,7	19,3	21,0	—	—	—	17,7	19,4	21,1	—	—	—
10,0	3,0	22,3	23,7	25,5	—	—	—	22,3	23,8	25,6	—	—	—
12,0	3,0	—	—	—	—	—	40,8	—	—	—	—	—	40,8
15,0	3,0	—	—	—	—	—	44,1	—	—	—	—	—	44,1
28,0	3,0	—	—	—	—	—	57,0	—	—	—	—	—	57,0

Применения

- 1 Тип 1-С применяют для автомобильных дорог II—V категорий при наличии слабых грунтов I и II типов. Для дорог I категории с асфальтобетонным покрытием конструктивная применяется только на слабых грунтах I типа.
- 2 Слой из геотекстиля позволяет понизить расчётную степень консолидации (I_p) по сравнению с нормативной ($I_{pн}$):

$$I_p = K I_{pн} = 0,95 I_{pн}$$

- 3 Полотна раскатывают в продольном направлении по всей ширине насыпи с перекрытием полос на 0,4—0,5 м. В поперечном направлении полотна раскатывают в случае, когда необходима общая равнопрочность в поперечном направлении и трудно обеспечить равнопрочный стык полотен при продольной раскатке. Полотна соединяют между собой склеиванием или сшиванием.
- 4 Минимальная высота насыпи определяется из условий снеготаносимости, возвышения верха дорожной одежды над уровнем поверхностных вод и исключения возможных упругих колебаний от проходящего транспорта.
- 5 Величина осадки определяется расчётом.
- 6 Насыпь в нижней части на величину осадки плюс 0,5 м возводится из дренирующих грунтов.
- 7 Крутизна откосов насыпи принимается для дорог I—III категорий — при высоте насыпи до 3 м равной 1:4; для дорог IV—V категорий — 1:3, в остальных случаях — 1:2.
- 8 Расход геотекстиля подсчитан для полотен шириной 1,5 м и перекрытием их на 0,15 м.

Рисунок А.6 — Насыпи на слабых основаниях с геотекстилем

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Классификация слабых грунтов и их свойства

Таблица Б.1

Классификация органических и органо-минеральных илов

Тип залегания	Вид грунта	Разновидность	Содержание органических веществ, %	Содержание карбонатных веществ (CaCO ₃), %	Природная влажность <i>W</i>	Коэффициент пористости <i>e</i>	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании), МПа, (кгс/см ²)	Модуль осадки <i>l_p</i> , мм/м (при нагрузке <i>P</i> = 0,05 МПа (0,5 кгс/см ²))
Неуплотненные в природном залегании (озерные под слоем воды)	Сапропели органические	Детритовые	> 60	< 30	6–20	12–25	< 0,002 (< 0,002)	900–500
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	10–60	> 30	2–6	5–12	0,006–0,002 (0,06–0,2)	400–200
		Кремнеземистые	10–60	< 30	1,5–6	4–12	0,005–0,003 (0,05–0,03)	300–200
Неуплотненные в природном залегании (болотные под слоем торфа)	Сапропели органические	Торфосапропели	> 80	< 10	9–12	16–20	0,013–0,002 (0,13–0,02)	800–500
		Детритовые	60–80	> 30	6–9	12–16	0,013–0,002 (0,13–0,02)	700–600
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	10–60	> 30	1,5–6	1–12	0,013–0,008 (0,13–0,08)	500–200
		Кремнеземистые	10–60	< 30	1,2–6	3–12	0,013–0,007 (0,13–0,07)	400–200
	Болотный мергель	–	< 10	> 10	1,2–0,8	3–1,5	0,20–0,008 (0,20–0,08)	200–60
	Болотный ил	–	< 10	< 10	1,2–0,3	3–1,1	0,032–0,011 (0,32–0,11)	100–40
Уплотненные в природном залегании (озерно-болотные под слоем минеральных наносов или под насыпью)	Сапропели органические	Детритовые	> 60	< 30	1,5–3,0	4–6	0,020–0,008 (0,20–0,08)	250–150
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	10–60	> 30	0,8–2,5	1,2–0,4	0,25–0,010 (2,5–0,10)	200–80
		Кремнеземистые	10–60	< 30	0,5–2,0	1,4–4,0	0,030–0,010 (0,30–0,10)	150–80

Примечание – Величины показателей физико-механических свойств при промежуточных значениях влажности определяются интерполяцией.

Таблица Б.2

Классификация торфяных грунтов

Тип грунтов	Природная влажность W	Коэффициент пористости e	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Степень разложения R , %	Степень волокнистости Φ , %	Зольность Z , %	Соппротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ , МПа, (кгс/см ²)	Модуль осадки l_p , мм/м (при нагрузке $P = 0,05$ МПа (0,5 кгс/см ²))
Осушенный (или уплотненный)	< 3	< 4	> 0,25	< 25	> 75	> 5 < 5	> 0,040 (> 0,40) > 0,035 (> 0,35)	150–200
				25–40	75–60	> 5 < 5	> 0,030 (> 0,30) > 0,033 (> 0,33)	
				> 40	< 60	> 5 < 5	> 0,019 (0,19) > 0,026 (0,26)	200–350
Маловлажный	3–6	4–9	0,14–0,25	< 25	> 75	> 5 < 5	0,040–0,025 (0,40–0,25) 0,035–0,022 (0,35–0,22)	
				25–40	75–60	> 5	0,30–0,017 (0,30–0,17)	
						< 5	0,033–0,016 (0,33–0,16)	
				> 40	> 75	> 5 < 5	0,019–0,0008 (0,19–0,08) 0,026–0,013 (0,26–0,13)	
Средней влажности	6–9	9–14	0,10–0,14	< 25	> 75	> 5 < 5	0,026–0,010 (0,26–0,10) 0,022–0,010 (0,22–0,10)	350–450
				25–40	75–60	> 5	0,017–0,010 (0,17–0,10)	
						< 5	0,016–0,011 (0,16–0,11)	
				> 40	< 60	> 5 < 5	0,008–0,005 (0,08–0,05) 0,013–0,008 (0,13–0,08)	
Очень влажный	9–12	14–18	0,07–0,10	< 25	> 75	< 5 > 5	0,015–0,008 (0,15–0,08) 0,013–0,006 (0,13–0,06)	450–550
				25–40	75–60	< 5	0,01–0,005 (0,10–0,05)	
						> 5	–	
				> 40	> 75	< 5	0,005–0,003 (0,05–0,03)	
						> 5	–	
Избыточно влажный	> 12	> 18	< 0,07	< 25	> 75	< 5 > 5	< 0,005 (< 0,05)	550–600
				25–40	75–60	< 5 > 5	< 0,003 (< 0,03)	
				> 40	> 75	< 5 > 5	< 0,003 (< 0,03)	

Примечание – Величины показателей физико-механических свойств при промежуточных значениях влажности определяются интерполяцией.

Значения показателей механических свойств переувлажненных глинистых грунтов

Разновидность грунта		Подвид (по пластичности)	Показатели механических свойств			Плотность ρ , т/м ³
Наименование	Коэффициент консистенции J_L		Удельное сцепление c , МПа	Угол внутреннего трения φ , град	Модуль деформации E , МПа	
Мягкопластичный	0,5–0,75	Супесь	0,005	20	38	1,9
		Суглинок	0,015	17	19	1,9
		Глина	0,020	14	2	1,95
Текучепластичный	0,75–1	Супесь	0,002	≤ 18	19	1,85
		Суглинок	0,010	13	12,5	1,85
		Глина	0,010	8	3	1,9
Текучий	≥ 1	Супесь	0,001	14	12,5	1,85
		Суглинок	0,005	10	6	1,8
		Глина	0,005	6	3	1,8

Примечание – К супеси следует относить грунты при $1 \leq J_p < 7$, к суглинку – при $7 \leq J_p \leq 17$, к глине – при $J_p > 17$.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Бланк задания для выполнения лабораторных работ*

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет транспортных коммуникаций

Кафедра «Автомобильные дороги»

ЗАДАНИЕ № _____

Студенту _____ группы _____

на выполнение лабораторных работ

по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»

Тема: «Проектирование земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании»

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

1. Категория автомобильной дороги – _____.
2. Расчетная группа нагрузки – _____, тип дорожной одежды _____.
3. Грунт насыпи – _____, рабочая отметка насыпи _____.
4. Срок строительства – _____ сут.
5. Расстояние от поверхности болота до горизонта грунтовых вод – _____ м.
6. Грунт минерального дна – _____.
7. Инженерно-геологическая характеристика болота:
-- болото неосушенное $H =$ _____ м
-- по глубине болота выделяют:

№ слоя	Толщина слоя, м	Расчетное сопротивление сдвигу τ , МПа	Начальный коэффициент пористости ε , %	Степень разложения R , %	Средняя плотность сухого торфа ρ , г/см ³
1					
2					
3...					

2. ПЕРЕЧЕНЬ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ВОПРОСОВ:

- 2.1 Расчет осадки земляного полотна.
- 2.2 Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна.
- 2.3 Динамический расчет земляного полотна.
- 2.4 Расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи.
- 2.5 Прогноз осадки во времени.
- 2.6 Расчет временной пригрузки.
- 2.7 Ускорение осадки путем частичного выторфовывания и путем устройства вертикальных дрен или дренажных прорезей.

3. ДАТА ВЫДАЧИ ЗАДАНИЯ: « ____ » ____ 20__ г.

Руководитель _____ ФИО, должность
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(дата) (подпись)

* Бланк задания может быть изменен по решению руководителя

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Проектирование земляного полотна на участках с залеганием слабых грунтов (пример расчета)

В пределах проектируемой оси автомобильной дороги I-в категории были обнаружены несколько заболоченных участков.

Все выделенные болота низинного типа. Питание болот осуществляется за счет атмосферных осадков. Грунт минерального дна – пески различного гранулометрического состава.

Болотные отложения распространены на пониженных участках. Мощность болотных отложений от 0,2 до 4,0 м. Содержание органического вещества колеблется от 0,04 до 0,78.

На заболоченных участках, которые встречаются в местах перехода оси проектируемой полосы на целину необходимо произвести расчет насыпи на слабом основании с целью уточнения конструкции земляного полотна и режима его возведения.

Произведем детальный расчет насыпи на слабом основании на ПК 779+00, геологический разрез представлен на рисунке Г.1.

Характеристики слабого основания на расчетном поперечнике приведены в таблице Г.1.

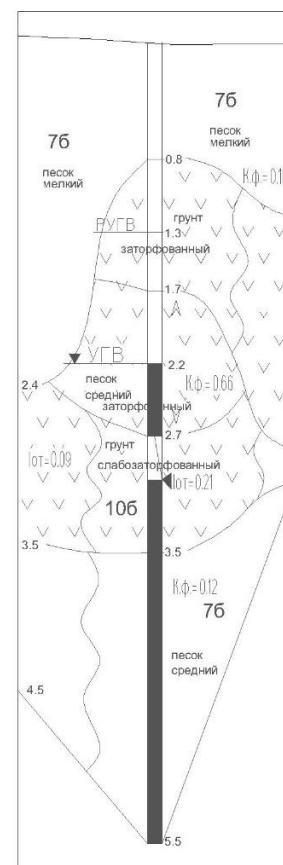


Рисунок Г.1 – Геологический разрез ПК 779+00

Таблица Г.1

Характеристики слабого грунта на расчетном поперечнике

№ слоя	Толщина слоя, м	Расчетное сопротивление сдвигу τ , МПа	Начальный коэффициент пористости ε , %	Средняя плотность сухого торфа ρ , г/см ³
1	0,9	0,035	4	0,26
2	1,0	0,008	15	0,10
3	0,8	0,005	18	0,06

Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна

Статический расчет прочности дорожной одежды (таблица Г.2) производят согласно [4] из условия, что упругий вертикальный прогиб на поверхности покрытия не превышает предельно допустимых значений.

Таблица Г.2

Конструкция дорожной одежды на расчетном поперечнике

Материал слоя	Толщина слоя, м	Модуль упругости, МПа
Асфальтобетон щебеночно-мастичный ЦМСц-1/2,2 на модифицированном битуме	0,05	3700
Асфальтобетон щебеночный крупнозернистый плотный тип А марки I ЦКАг-1/2,75	0,07	3200
Асфальтобетон щебеночный крупнозернистый пористый марки II ЦКПг-1/2,75	0,08	2000
Щебеночная смесь оптимального состава из гранитного щебня фр. 40-70мм ЩОС-2	0,18	330
Щебеночная смесь из гранитного щебня	0,15	200

Проектируемая насыпь на основании из заторфованного грунта должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить заданную прочность дорожной одежды.

Модуль упругости грунта насыпи принят непывеватый песчаный грунт с модулем упругости полотна $E_n = 100$ МПа.

Требуемый модуль упругости дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием для расчетной группы нагрузки A_3 и проектируемой категории автомобильной дороги – $E_{общ} = 310$ МПа. Средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды:

$$E_{ср до} = (3700 * 0,05 + 3200 * 0,07 + 2000 * 0,08 + 330 * 0,18 + 200 * 0,15) / 0,53 = 1242,3 \text{ МПа.}$$

Требуемый общий модуль упругости на поверхности насыпи определяется исходя из отношений: $E_{общ} / E_{ср до} = 310 / 1242,3 = 0,25$ и $H_{до} / D = 0,53 / 0,41 = 1,29$. Требуемый общий модуль упругости на поверхности насыпи:

$$E^n_{общ треб} = 1242,3 / 19 = 65,4 \text{ МПа.}$$

Расчет конечной осадки и толщины насыпного слоя

Рабочая отметка насыпи (высота насыпи) h на расчетном поперечнике (ПК 779+00) по условиям проектирования продольного профиля принята равной 2,48 м.

Расчет осадки $S_{от}$, происходящей за счет отдавливания слабых слоев, производится на основании данных о значении сопротивления сдвигу каждого расчетного слоя в заторфованном массиве (таблица Г.3).

Таблица Г.3

Определение осадки отдавливаемых слоев

$h_i, \text{ м}$	$\tau, \text{ МПа}$	$\lambda_{i \text{ от}}$	$S_{i \text{ от}} = \lambda_{i \text{ от}} h_i, \text{ м}$
0,9	0,035	0,00	0
1,0	0,008	0,37	0,37
0,8	0,005	0,67	0,54
$\sum_{i=1}^n h_i = H = 2,7 \text{ м}$			$S_{от} = \sum_{i=1}^n S_{i \text{ от}} = 0,91 \text{ м}$

Предварительно производим расчет параметров K_0 и P_0 :

$$K_0 = \rho_n^{\text{БЗБ}} H (1 - \lambda_{от}) = 0,01 [2,7 * 1,44 * (1 - 0,91/2,7)] = 0,026 \text{ МПа}$$

$$P_0 = \rho_n (h + h_{зв}) + \rho_n^{\text{БЗБ}} (H \lambda_{от} - h_{зв}) = 0,01 [1,8 * (2,48 + 1,3) + 1,44 * (2,7 * 0,34 - 1,3)] = 0,063 \text{ Мпа}$$

Для определения относительной деформации сжатия $\lambda_{сж}$ слабого грунта необходимо значение средневзвешенной пористости торфяного основания:

$$e_o = (0,9 * 4 + 1,0 * 15 + 0,8 * 18) / 2,7 = 12,2\%$$

По номограмме (рис. 12.8 ТКП 200-2018) значение относительной деформации $\lambda_{сж} = 0,38$.

Осадка от сжатия заторфованного основания $S_{сж}$:

$$S_{сж} = \lambda_{сж} (H - S_{от}) = 0,38 (2,7 - 0,91) = 0,68 \text{ м};$$

Общая осадка заторфованного основания $S_{общ}$:

$$S_{общ} = S_{сж} + S_{от} = 0,68 + 0,91 = 1,59 \text{ м}.$$

Расчетная нагрузка на основание равна:

$$P_{расч} = K_0 \lambda_{сж} + P_0 = 0,026 * 0,38 + 0,063 = 0,073 \text{ МПа}.$$

По графику зависимости плотности сухого торфа и относительной деформации сжатия определяется модуль упругости заторфованного основания под насыпью.

Для $\lambda_{сж} = 0,38$ и $\rho_d = 0,141 \text{ г/см}^3$ определяем модуль упругости торфа под насыпью – $E_m = 3,6 \text{ МПа}$.

Зная отношение $E_n/E_m = 100/3,6 = 28$, $h'_n/D = (2,48 + 1,59 - 0,53)/0,41 = 8,6$, $h_m/D = (2,7 - 1,59)/0,41 = 2,7$, определяем коэффициенты $m = 0,958$, $K = 0,005$, $\eta = 0,18$, $n = 1,3$.

Фактический модуль упругости насыпи на торфе составит:

$$E^{\text{н}}_{\text{общ}} = (100 \cdot 3,6) / (3,6 \cdot 0,958 + 100 \cdot 0,005 \cdot 0,18 \cdot 1,3) = 101 \text{ МПа.}$$

Полученный фактический модуль упругости на поверхности насыпи 101 МПа больше требуемого ($101 > 65,4$), следовательно, принятая толщина насыпи обеспечит прочность дорожной одежды.

Толщина насыпного слоя с учетом общей осадки насыпи составит 4,07 м, что обеспечит исключение упругих колебаний насыпи на заторфованном основании. В таком случае динамический расчет не производится, поскольку во всех случаях толщина насыпного слоя больше 3,0 м обеспечит незначительное ускорение колебаний земляного полотна от воздействия транспортной нагрузки, которые не превысят допустимых значений по условиям вибрационной прочности асфальтобетонного покрытия.

Расчет устойчивости заторфованного основания

При расчете устойчивости слабого основания необходимо определить коэффициент безопасности $K_{\text{без}}$, выражающийся как отношение безопасной нагрузки к расчетному значению нагрузки от веса возводимой насыпи.

В дальнейшем тип слабого основания по устойчивости определяет возможность его дальнейшего использования в качестве основания насыпи.

Безопасная нагрузка на основание зависит от сопротивления сдвигу самого слабого слоя в заторфованном основании и относительной глубины расположения этого слабого слоя.

На расчетном поперечнике ПК 779+00 безопасная нагрузка составит:

$$P_{\text{нач}}^{\text{без}} = N\tau = 4,63 \cdot 0,005 = 0,0231 \text{ МПа,}$$

где $N = 4,63$ по таблице 23 ТКП 200-2018 для относительной глубины расположения слабого слоя, равной: $2,7 / (22,7 + 2 \cdot 3 \cdot 2,48) = 0,072$.

Коэффициент безопасности определяется из соотношения:

$$P_{\text{нач}}^{\text{без}} / P_{\text{расч}} = 0,0231 / 0,073 = 0,32$$

Поскольку $K_{\text{без}} = 0,32 < 0,7$, основание по устойчивости относится к типу IIIА, следовательно, устойчивость основания при возведении насыпи сразу на всю высоту с учетом запаса на осадку не обеспечена. Насыпь необходимо возводить медленно по методу постепенного загрузения.

Необходимо рассчитать режим постепенного возведения насыпи до проектной отметки с учетом величины общей осадки и сравнить со сроком строительных работ.

Расчет режима возведения насыпи

При определении режима возведения насыпи на заторфованном основании необходимо установить толщину насыпи, которую можно отсыпать сразу, а затем определить полное время погружения насыпи в заторфованное основание.

Определяется толщина насыпи (нагрузка P_1), которую можно отсыпать сразу (в один прием).

Принимаем $P_1 = P_{нач\ без} = 0,0231 \text{ МПа}$ и толщина слоя отсыпки в один прием: $h_1 = P_{нач\ без} / \rho_n = 0,0231 / 1,8 * 10^{-2} = 1,28 \text{ м}$, поскольку $h_1 = 1,28 \text{ м} > S_{от} = 0,91 \text{ м}$.

Устанавливаем продолжительность строительного периода t_0 , в течение которого необходимо возводить насыпь до проектной толщины из условия обеспечения устойчивости основания.

Вычисляем отношение $\lambda_1 / \lambda_{расч} = P_1 / P_{расч} = 0,0231 / 0,073 = 0,32$.

Степень консолидации основания, достигаемая в течение строительного периода, принимается в зависимости от относительной деформации сжатия ($U_0 = 0,60$ для $\lambda_{сж} = 0,38$).

Зная отношения $\frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$ и $\frac{U_0}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}}$, на номограмме (рисунок 12.9 [2])

через эти точки проводим прямую и на сетке шкал $\frac{t_0}{T}$ и $\frac{t}{T}$ при условии $\frac{t_0}{T} = \frac{t}{T}$ и находим $\frac{t_0}{T}$.

$$0,32 / (1 - 0,32) = 0,47;$$

$$0,60 / (1 - 0,32) = 0,88;$$

$$t_0 / T = 3,0.$$

Определяется консолидационный параметр T слабого основания:

$$T = \frac{4 \cdot 10^{-2} S_{сж}}{\sqrt{\lambda_{сж} P}} = (4 * 10^{-2} * 68) / (0,38 * 0,073)^{0,5} = 17 \text{ суток}.$$

Следовательно, $t_0 = 3,0 * T = 3,0 * 17 = 51 \text{ сутки}$.

Определяем длительность консолидации основания, необходимую для достижения заданной степени консолидации основания U , позволяющей производить устройство дорожной одежды капитального типа.

Значение $U = 0,95$ для $S_{сж} = 68 \text{ см}$. С помощью номограммы для отношений:

$$0,32 / (1 - 0,32) = 0,47;$$

$$0,95 / (1 - 0,32) = 1,40;$$

$$t_0 / T = 3,0 \text{ находим отношение } t / T = 18,8.$$

Следовательно, $t = 18,8 * T = 18,8 * 17 = 320 \text{ суток}$.

Расчитанное время консолидации является не приемлемым, существенно превышающем строительный период на возведение земляного полотна, поэтому необходимо предусмотреть мероприятия по сокращению времени на возведение насыпи на заторфованном основании.

Назначение мероприятий, ускоряющих возведение насыпи на слабом основании

Произведенные расчеты на характерном поперечнике (ПК 779+00) показали, что мощность слабого основания и его деформационные характеристики не смогут обеспечить возведение насыпи в заданные сроки, поэтому необходимы мероприятия, обеспечивающие заданные темпы строительства.

Так как на реконструируемом участке автомобильной дороги имеется значительное количество участков с заторфовыванием и они имеют разное строение и мощности слабого слоя болотных отложений от 0,2 до 4,0 м, принято решение о расчете величины выторфовывания.

Экономически удаление слабого грунта может оправдываться при сравнительно малой мощности слоя и небольшом протяжении участка, возможности полезного использования удаленного грунта, высокой стоимости мероприятий по обеспечению устойчивости, прочности и стабильности.

Величина выторфовывания определяется:

$$h_{\text{выт}} = H \left(1 - \sqrt{\frac{t_{\text{стр}}}{t}} \right) = 2,7 * \left(1 - \sqrt{\frac{120}{320}} \right) = 2,61 \text{ м,}$$

где H – общая толщина торфа, м;

$t_{\text{стр}}$ – срок строительства;

t – необходимое время осадки, рассчитанное исходя из исходных данных.

На расчетном поперечнике ПК 779+00 величина мощности заторфованного грунта составляет 2,7 м, рассчитанное время осадки существенно превышает срок строительства $t_{\text{стр}}=120$ суток. Проектом предусматривается полное выторфовывание до минерального дна. Грунты минерального дна на расчётном поперечнике – песок средний с модулем упругости 120 Мпа, средней плотностью – 1,70 г/см³.

В соответствии с расчетами на характерном поперечнике проектом предусмотрено полное выторфовывание до минерального дна.