РЕСПУБЛИКАНСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ НА БОЛОТНЫХ ГРУНТАХ

РСН 09—85
Госстрой БССР

Издание официальное

Государственный комитет Белорусской ССР
по делам строительства

Минск 1985

gost.e-ecolog.ru

РЕСПУБЛИКАНСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ НА БОЛОТНЫХ ГРУНТАХ

РСН 09-85

Госстрой БССР

Издание официальное

Государственный комитет Белорусской ССР
по делам строительства

Минск 1985

РАЗРАБОТАНЫ	Отделом строительства автомобильных дорог Белдорнии НПО "Дорстройтехника" Миндорстроя БССР, В.Н.Яромко канд.техн.наук (руководитель темы и исполнитель)
ВНЕСЕНЫ	Министерством строительства и эксплуатации автомобильных дорог БССР (Миндорстроем БССР), заместитель министра В.И.Денисенко
ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ	Отделом планировки и застройки промузлов, промышленного и специализированного строительства Госстроя БССР, Ю.А.Григорьев, отделом стандартов и технических условий Госстроя БССР, М.П.Павлова

С введением в действие республиканских строительных норм "Расчет дорожных насыпей на болотных грунтах" РСН 09-85 Госстрой БССР утрачивают силу республиканские строительные нормы "Инструкция по расчету дорожных насыпей на болотных грунтах" РСН 09-76 Госстрой БССР.

Государственный комитет Белорусской ССР по делам строительства (Госстрой БССР)	Республиканские строительные нормы	РСН 09-85 Госстрой БССР
	Расчет дорожных насыпей на болотных грунтах	Взамен РСН 09-76 Госстрой БССР

Настоящие нормы распространяются на проектирование земляного полотна автомобильных дорог Ш-У категорий с одеждами нежесткого типа на переходах через болота I и II типов и устанавливают правила расчета дорожных насыпей на болотных грунтах для условий Белорусской ССР.

Настоящие нормы не распространяются на проектирование дорог на искусственных основаниях (выторфовывание, свайные эстакады, грунтовые сваи), основаниях с глубинным укреплением, уплотнением или промораживанием слабых грунтов, а также проектирование облегченных и временных конструкций на сланях и гатях.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. При расчете дорожных насыпей на болотных грунтах следует соблюдать требования СНиП П.Д.5-72, "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-83/Минтрансстрой, СН 449-72, "Руководства по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах" Минтрансстроя и настоящих норм.

I.2. Земляное полотно на болотах проектируют в виде насыпей,

Внесены Министерством строительства и эксплуатации автомобильных дорог БССР	Утверждены постановлением Государственного комитета Белорусской ССР по делам строительства от I9 ноября I985 г. № 55	Срок введения в действие I января I986 г.

Издание официальное

расчет которых должен осуществляться с учетом особенностей работы всей дорожной конструкции на болотных грунтах.

I.3. Дорожная конструкция включает дорожную одежду, земляное полотно и слабое основание, состоящее из одного или нескольких слоев болотного грунта. Слой грунта, кровля которого является дном болотной залежи, считается несжимаемым.

I.4. Нормы предусматривают комплексный расчет дорожной одежды и земляного полотна на болотных грунтах с учетом общих требований, предъявляемых к дорожной одежде и земляному полотну, и следующих дополнительных требований, обусловленных особенностями болотных грунтов:

а) устойчивости - не допускается возможность выпора (или выдавливания) болотного грунта из-под насыпи (если это не предусмотрено проектом);

б) стабильности - не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации болотного грунта в основании насыпи;

в) прочности - упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать величин, допустимых для принятого типа покрытия.

I.5. Расчет дорожной конструкции со слоем болотного грунта в основании земляного полотна выполняют:

а) при составлении технико-экономического расчета (оценка оптимальности выбранного варианта конструктивно-технологического решения земляного полотна и обосновании варианта трассы перехода через болото) - по данным зондирования и значениям физико-механических характеристик болотных грунтов, определяемым по показателям состава и состояния, используя табл. I и 2 настоящих норм;

б) при разработке рабочего проекта (одностадийное проектирование) или проекта и рабочей документации (двухстадийное проектирование) - по данным полевого или лабораторного определения значений физико-

механических характеристик болотных грунтов.

При составлении рабочей документации для особо сложных объектов производят, при необходимости, дополнительные изыскания и расчеты, уточняющие принятые конструктивно-технологические решения.

I.6. Комплексный расчет и проектирование дорожной одежды и земляного полотна на болотном грунте производят в следующем порядке:

намечают расчетные участки и устанавливают расчетные значения физико-механических характеристик материалов дорожной одежды, грунта насыпи и болотных грунтов;

устанавливают возможность использования болотного грунта в качестве основания насыпи;

определяют толщину дорожной одежды и устанавливают требуемый модуль упругости системы насыпь - болотный грунт;

устанавливают минимально допустимую высоту насыпи на расчетных участках, руководствуясь условиями водно-теплового режима и снегозаносимости дороги;

с учетом минимально допустимой высоты наносят красную линию, устанавливают проектную высоту насыпи и намечают расчетные поперечники;

определяют величину осадки болотного грунта;

проверяют соответствие полученной толщины насыпи условиям прочности дорожной одежды при статическом и динамическом действии транспортной нагрузки;

определяют устойчивость болотных грунтов в основании насыпи;

производят расчет длительности осадки болотных грунтов и устанавливают сроки устройства дорожной одежды;

намечают, в случае необходимости, мероприятия по ускорению консолидации насыпи и обеспечению стабильности и устойчивости дорожной конструкции с назначением рационального режима отсыпки земляного полотна по условиям устойчивости основания.

Исходные данные для проектирования

I.7. При составлении технико-экономического расчета необходимо иметь данные о границах, глубине и типе болота, а также знать категорию проектируемой дороги и тип покрытия.

I.8. При разработке рабочего проекта или проекта и рабочей документации необходимо иметь следующие материалы инженерно-геологических изысканий:

геологический профиль болота по оси дороги и на расчетных поперечниках с указанием стратиграфического строения болотной залежи и положения уровня грунтовых вод;

основные физические (влажность, плотность, коэффициент пористости, степень разложения, содержание органических веществ и карбонатов кальция $CaCO_3$) и механические (сопротивление сдвигу по крыльчатке, результаты компрессионных испытаний) характеристики выделенных однородных слоев болотной залежи;

геотехнические модели болотной залежи, построенные с использованием статистических методов обработки результатов испытаний применительно к расчету устойчивости, и осадки, с выделенными слоями и расчетными показателями;

характеристики грунтов минерального дна болота (гранулометрический состав и водопроницаемость);

расчетные характеристики (прочностные и деформационные) грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожной одежды.

I.9. Проведение инженерно-геологического обследования болот и определение значений физико-механических характеристик болотных грунтов производится в соответствии с "Руководством по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах" Минтрансстроя.

2. ВИДЫ И СВОЙСТВА БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ

2.1. К болотным грунтам относят осадочные нелитифицированные породы органического происхождения: торф, сапропель, болотный мергель, органический ил. В естественных отложениях болот в условиях недостаточного стока и испарения эти грунты находятся в водонасыщенном состоянии и имеют высокую пористость.

2.2. Свойства болотных грунтов зависят от их состава и состояния. Характеристикой состава торфяных грунтов служит соотношение трех основных компонентов: волокнистых, гумусных и минеральных частиц. Содержание волокнистых частиц определяют по массе остатка при промывании на сите 0,25 мм; содержание гумусных частиц – по массе вещества, прошедшего через указанное сито; содержание минеральных частиц – по массе остатка после прокаливания при температуре 800 $\pm$ 25°С. Основная характеристика состава органо-минеральных грунтов (сапропель, болотный мергель, ил) – соотношение органической и минеральной частей (по массе), дополнительная – содержание карбонатов типа $CaCO_3$, определяемых по количеству углекислого газа CO_2, образующегося при действии на грунт 10% раствора соляной кислоты HCl.

Характеристикой состояния болотных грунтов является природная влажность w или коэффициент пористости e.

2.3. Значения физико-механических характеристик болотных грунтов устанавливают на основе данных изысканий и лабораторных испытаний. При отсутствии данных испытаний значения физико-механических характеристик болотных грунтов допускается определять по основным показателям состава и состояния, используя табл. I (торфяные грунты) и табл. 2 (органо-минеральные грунты).

Таблица I

Типы грунтов	Природная влажность W	Коэффициент пористости, e	Плотность сухого грунта, γ_d, г/см³	Степень разложения, R, %	Степень волокнистости, Ф, %	Зольность α, %	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ, МПа (кгс/см²)	Модуль осадки l_p мм/м (при нагрузке P=0,05МПа (0,5кгс/см²)
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Сухой (или уплотненный)	<3	<4	>0,25	<25	>75	>5 <5	>0,040 (>0,40) >0,035 (>0,35)	I50-200
				25-40	75-60	>5 <5	>0,030 (>0,30) >0,033 (>0,33)	
				>40	<60	>5 <5	>0,0I9 (>0,I9) >0,026 (>0,26)	
Маловлажный	3-6	4-9	0,I4-0,25	<25	>75	>5 <5	0,040-0,025 (0,40-0,25) 0,035-0,022 (0,35-0,22)	200-350
				25-40	75-60	>5 <5	0,030-0,0I7 (0,30-0,I7) 0,033-0,0I6 (0,33-0,I6)	
				>40	>75	>5 <5	0,0I9-0,008 (0,I9-0,08) 0,026-0,0I3 (0,26-0,I3)	
Средней влажности	6-9	9-I4	0,I0-0,I4	<25	>75	>5 <5	0,026-0,0I0 (0,26-0,I0) 0,022-0,0I0 (0,22-0,I0)	350-450
				25-40	75-60	>5 <5	0,0I7-0,0I0 (0,I7-0,I0) 0,0I6-0,0II (0,I6-0,II)	
				>40	<60	>5 <5	0,008-0,005 (0,08-0,05) 0,0I3-0,008 (0,I3-0,08)	

Продолжение таблицы I

Типы грунтов	Природная влажность W	Коэффициент пористости, e	Плотность сухого грунта, γ_d, г/см³	Степень разложения, R, %	Степень волокнистости, Ф, %	Зольность α, %	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ, МПа (кгс/см²)	Модуль осадки ℓ_p мм/м (при нагрузке P=0,05 МПа (0,5 кгс/см²)
I	2	3	4	5	6	7	8	9
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 >5	0,01-0,005 (0,10-0,05) -	
				>40	>75	<5 >5	0,005-0,003(0,05-0,03) -	
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

Таблица 2

Тип залегания	Вид грунта	Разновидность	Содержание органических веществ %	Содержание карбонатных веществ ($CaCO_3$) %	Природная влажность, W	Коэффициент пористости, e	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) МПа (кгс/см^2)	Модуль осадки ℓ_p, мм/м (при нагрузке P=0,05МПа (0,5кгс/см^2)
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Неуплотненные в природном залегании (озерные под слоем воды)	Сапропели органические	Детритовые	>60	<30	6-20	I2-25	<0,002 (<0,02)	900-500
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	I0-60	>30	2-6	5-I2	0,006-0,002 (0,06-0,02)	400-200
		Кремнеземистые	I0-60	<30	I,5-6	4-I2	0,005-0,003 (0,05-0,03)	300-200
Неуплотненные в природном залегании (болотные под слоем торфа)	Сапропели органические	Торфосапропели	>80	<I0	9-I2	I6-20	0,0I3-0,002 (0,I3-0,02)	800-500
		Детритовые	60-80	<30	6-9	I2-I6	0,0I3-0,002 (0,I3-0,02)	700-500
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	I0-60	>30	I,5-6	4-I2	0,0I3-0,008 (0,I3-0,08)	500-200
		Кремнеземистые	I0-60	<30	I,2-6	3-I2	0,0I3-0,007 (0,I3-0,07)	400-200
	Болотный мергель	-	<I0	>I0	I,2-0,8	3-I,5	0,020-0,008 (0,20-0,08)	200-60
	Болотный ил	-	<I0	<I0	I,2-0,3	3,I,I	0,032-0,0II (0,32 -0,II)	I00-40

Продолжение таблицы 2

Тип залегания	Вид грунта	Разновидность	Содержание органических веществ %	Содержание карбонатных веществ ($CaCO_3$) %	Природная влажность, W	Коэффициент пористости, e	Сопротивление сдвигу по крыльчатке (в природном залегании) τ МПа (кгс/см^2)	Модуль осадки l_p, мм/м (при нагрузке P=0,05МПа (0,5кгс/см^2)
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Уплотненные в природном залегании (озерно-болотные – под слоем минеральных наносов или под насыпью)	Сапропели органические	Детритовые	>60	<30	I,5–3,0	4–6	0,020–0,008 (0,20–0,08)	250–I50
	Сапропели органо-минеральные	Известковистые	I0–60	>30	0,8–2,5	I,2–0,4	0,25–0,0I0 (2,5–0,I0)	200–80
		Кремнеземистые	I0–60	<30	0,5–2,0	I,4–4,0	0,030–0,0I0 (0,30–0,I0)	I50–80

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

3. ВЫДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ УЧАСТКОВ И РАСЧЕТНЫХ СЛОЕВ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ. НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ

3.1. Расчетные значения физико-механических показателей болотных грунтов устанавливают для каждого выделенного расчетного участка и расчетного слоя, однородных (однотипных) по инженерно-геологическим свойствам.

3.2. Предварительное разделение болотной залежи на однородные участки и слои выполняют на основе геологического разреза, получаемого по результатам бурения с визуальной оценкой грунтов по качественным признакам.

Для уточнения границ выделенных слоев на геологический разрез наносят графики изменения по глубине удельного сопротивления зондированию, сопротивления сдвигу по крыльчатке и основных классификационных показателей состава и состояния грунтов.

Уточнение границ расчетных слоев осуществляется после определения расчетных значений показателей физико-механических свойств грунтов.

3.3. Выделение однородных расчетных слоев геотехнической модели для болотной залежи производят путем статистической обработки результатов испытаний. При этом руководствуются следующими правилами:

а) геологический слой должен быть генетически однороден (значения основных классификационных показателей слоя не должны выходить за пределы одной классификационной группы, определяемой табл.1 и 2);

б) геологический слой должен характеризоваться статистической однородностью по выбранному показателю или набору показателей (резкие отскоки (промахи) среди значений показателей должны быть исключены, если они не являются следствием статистического разброса);

в) количество определений одного и того же показателя должно быть не менее шести.

По прочностным свойствам болотные грунты можно считать однородными, если коэффициент вариации сопротивления сдвигу не превышает 20%.

Для физических показателей допустимые величины коэффициентов вариации по условиям статистической однородности приведены в табл.3.

Таблица 3

Физические свойства болотных грунтов			Допустимые величины коэффициентов вариации
влажность, W	коэффициент пористости, e	плотность сухого грунта, γ_d, г/см³	
< 3	< 4	> 0,25	I5
3 - 6	4 - 9	0,I4 - 0,25	I2
6 - 9	9 - I4	0,I0 - 0,I4	7
9 - I2	I4 - I8	0,07 - 0,I0	5
> I2	> I8	< 0,07	4

3.4. Для определения расчетных значений характеристик болотных грунтов следует применять вероятностно-статистические методы, назначая надежность (доверительную вероятность) расчетных показателей в зависимости от категории автомобильной дороги.

Расчетные характеристики болотных грунтов определяют по формуле

$$X_{расч.} = X_н \pm \Delta X_\alpha \ , \qquad (I)$$

где $X_{расч.}$ - расчетное значение показателя;

$X_н$ - нормативное значение показателя (его среднеарифметическое, средневзвешенное значение);

ΔX_α - отклонение нормативного значения показателя от его истинного значения (половина ширины доверительного интервала).

$$\Delta X_\alpha = \frac{t_\alpha \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \ . \qquad (2)$$

Здесь t_α – коэффициент Стьюдента, определяемый в зависимости от заданной доверительной вероятности – коэффициента надежности – и числа измерений согласно рекомендуемому приложению I;

σ – среднее квадратическое отклонение (см.приложение I);

n – число измерений.

Коэффициент надежности α для дорог Ш и IУ-У категорий соответственно равен 0,85 и 0,80.

При определении расчетных значений прочностных характеристик грунтов коэффициент надежности принимается равным 0,99 независимо от категории проектируемой дороги.

В качестве расчетного следует принимать значение показателя, получаемое по формуле (I), обеспечивающее большую надежность расчета.

3.5. Для проведения геотехнических расчетов на каждом расчетном участке назначают расчетные поперечники. Число расчетных поперечников устанавливают в зависимости от мощности болотных грунтов и протяженности участка. Кроме того, во всех случаях расчетные поперечники необходимо назначать в наиболее опасных сечениях (глубокие места болот, наличие уклонов минерального дна и т.п.).

4. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ

4.I. Возможность использования болотной залежи в качестве основания насыпи устанавливают в зависимости от типа основания по устойчивости. На первом этапе расчета тип основания по устойчивости и характер специальных мероприятий, необходимых для использования болотного грунта в качестве основания проектируемой насыпи, определяют в зависимости от состава строительных типов болотных грунтов, слагающих болотную залежь (табл. 4).

Таблица 4

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

Примечание. При толщине наиболее слабого слоя менее 5% от общей мощности болотной залежи его наличие при определении типа основания по устойчивости не учитывают.

4.2. Строительный тип болотного грунта определяют по табл. 5 в зависимости от величины сопротивления сдвигу, устанавливаемой путем испытаний с помощью крыльчатки в условиях природного залегания.

Таблица 5

Разновидность болотного грунта по состоянию	Осушенный (уплотненный) или маловлажный	Средней влажности	Очень влажный	Избыточно-влажный и жидкие образования
Сопротивление сдвигу по крыльчатке τ, МПа (кгс/см^2)	$>0{,}015$ ($>0{,}15$)	$0{,}010$–$0{,}015$ ($0{,}10$–$0{,}15$)	$0{,}005$–$0{,}010$ ($0{,}05$–$0{,}10$)	$<0{,}005$ ($<0{,}05$)
Строительный тип болотного грунта	I	2	3 а	3 б

4.3. После определения толщины проектируемой насыпи тип основания по устойчивости уточняют специальным расчетом (см.раздел 7 настоящих норм).

5. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Расчет прочности дорожной одежды

5.I. Расчет прочности дорожной одежды следует производить исходя из условия, что упругий вертикальный прогиб (общий модуль упругости) на поверхности покрытия от статического действия расчетной нагрузки группы А (P = 0,60 МПа (6 кгс/см^2); D = 33 см) не превышает предельно допустимых величин при одновременном обеспечении работы всех конструктивных слоев в стадии обратимых деформаций. Предельно допустимые прогибы и общие модули упругости для дорог на болотах в зависимости от среднесуточной интенсивности движения и типа покрытия принимают по графику (рис. I), но не ниже минимально допустимых, приведенных в табл. 6.

Таблица 6

Категория дороги	Количество расчетных автомобилей группы А на одну полосу	Минимально допустимые модули упругости для покрытий, МПа (кгс/см^2)		
		усовершенствованных капитальных	усовершенствованных облегченных	переходного типа
Ш	70	I65(I650)	I30(I300)	-
IУ	-	I50(I500)	I05(I050)	70(700)
У	-	-	85(850)	50(500)

Расчет производят согласно Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83/Минтрансстрой, последовательно рассматривая сверху каждую пару смежных слоев и определяя общие модули упругости на поверхности каждого слоя (рис. 2) с обязательной проверкой недопустимости возникновения остаточных деформаций в под-

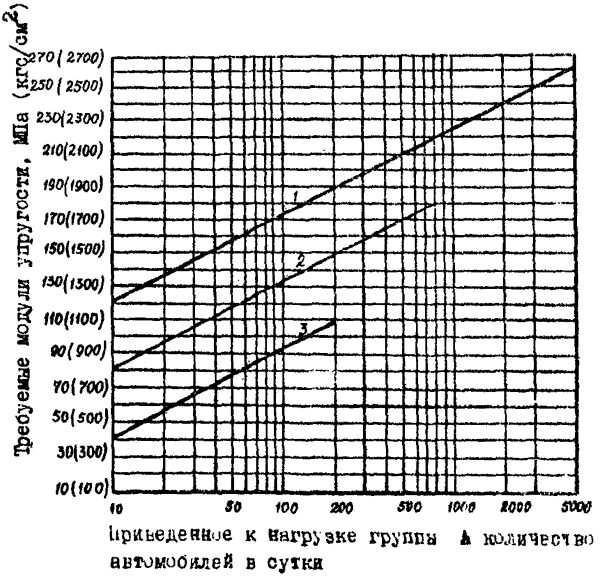


Рис. I. Требуемые модули упругости для дорожных одежд (расчетная нагрузка группы А)

I - для усовершенствованных капитальных покрытий

2 - для усовершенствованных облегченных покрытий

3 - для переходных покрытий

стилающем грунте и во всех конструктивных слоях дорожной одежды.

Полученный расчетом модуль упругости на поверхности насыпи принимают в качестве требуемого модуля упругости $E^{н}_{общ.\,треб.}$ системы насыпь-болотный грунт.

Расчет толщины насыпного слоя

5.2. 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 $E^{н}_{общ.\,треб.}$, полученному по результатам расчета дорожной одежды.

5.3. Фактический модуль упругости на поверхности насыпи (модуль упругости системы насыпь – болотный грунт) определяют по формуле

$$E^{н}_{общ.} = \frac{E_н \cdot E_т}{E_т \cdot m + 1{,}3 E_н \cdot K \cdot \eta}\ , \qquad (3)$$

где $E_н$ – модуль упругости грунта насыпи, принимаемый по данным табл. 7 или на основе результатов испытаний;

$E_т$ – модуль упругости болотного грунта, уплотненного массой насыпи, который определяют по данным компрессионных или штамповых испытаний. Для торфяных грунтов $E_т$ допускается определять по экспериментальной зависимости $E_т = f(\gamma_d\ ,\ \lambda_{сж})$, приведенной на рис. 3 (γ_d – плотность торфа в природном залегании, г/см^3; $\lambda_{сж}$ – относительная деформация сжатия торфа, уплотненного массой насыпи – см. раздел 8 настоящих норм).

m – коэффициент, учитывающий относительную толщину насыпного слоя $h'_н/D$ (табл. 8).

Здесь $h'_н$ – толщина насыпного слоя, исчисляемая от низа дорожной одежды до подошвы насыпи (см.рис. 2).

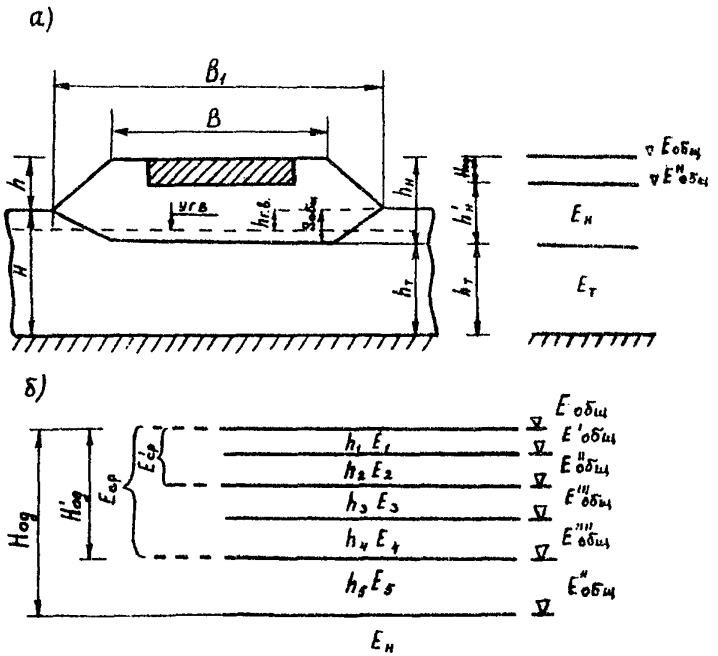


Рис. 2. Расчетная схема
а – системы дорожная одежда–насыпь–болотный грунт
б – дорожной одежды

$$h'_н = h + S_{общ} - H_{од}\ ;$$

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

h – высота насыпи;

$S_{общ}$ – осадка слабого основания;

$H_{од}$ – толщина дорожной одежды;

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

Таблица 7

Вид грунта	Модуль упругости МПа (кгс/см^2)
Пески крупные и гравелистые	130(1300)
Пески средней крупности	100(1000)
Пески мелкие	80(800)

Таблица 8

$h'_н/D$	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

$h'_н/D$	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

Коэффициент K определяют по графику (рис. 4а) в зависимости от отношений $h'_н/D$ и $h'_т/D$;

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 $E_н/E_т$ для $h'_н \geqslant 2D$ определяют по графику (рис. 4б).

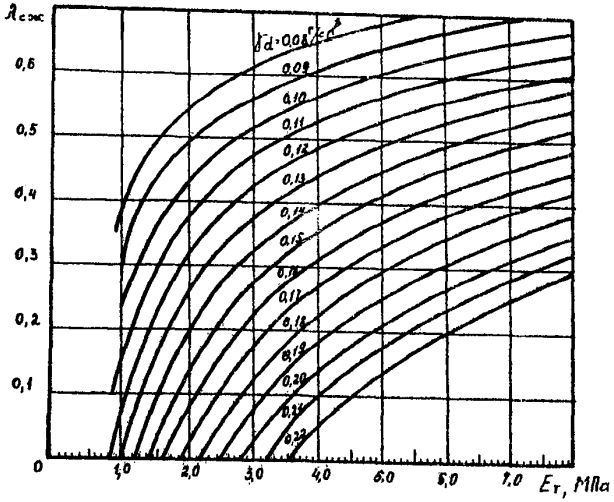


Рис. 3. Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

5.4. Учитывая, что толщина и модуль упругости торфа под насыпью зависят от толщины насыпного слоя, которая подлежит определению, расчет ведут методом последовательного приближения. Высоту насыпи h принимают по условиям проектирования продольного профиля, соблюдения требований водно-теплового режима, снегонезаносимости и обеспечения минимальной толщины насыпи по условиям динамического расчета земляного полотна. В первом приближении высоту насыпи по условиям динамического расчета принимают при капитальных, облегченных, переходных и низших типах покрытия соответственно равной:

для болот глубиной до 4 м – 1,5; 1,2; 1,0 м;

для болот глубиной более 4 м – 1,0; 0,8; 0,6 м.

Далее производят расчет осадки основания насыпи $S_{сж}$ и $\lambda_{сж}$ (см.раздел 8) и определяют модуль упругости $E_т$ торфяного основания (см.рис. 3), уплотненного массой насыпи расчетной толщины $h_н = h + S_{общ}$. Затем сравнивают значение $E^н_{общ}$, рассчитанное по формуле (3), с $E^н_{общ\ треб.}$, требуемым по условиям прочности и жесткости дорожной одежды. Если $E^н_{общ}$ меньше $E^н_{общ\ треб}$, необходимо увеличить толщину насыпного слоя и повторить расчет. Расчет толщины насыпи считается законченным, если выполнено условие $E^н_{общ} \geqslant E^н_{общ\ треб}$ с точностью $\pm$ 5%.

6. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

6.1. Динамический расчет производят только для насыпей, в основании которых залегает торф, если толщина насыпного слоя, рассчитанного статическим методом, менее 3 м.

6.2. Динамический расчет сводится к удовлетворению следующего условия:

$$a_{факт} \leqslant a_{доп}, \qquad (4)$$

где $a_{факт}$ – ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе;

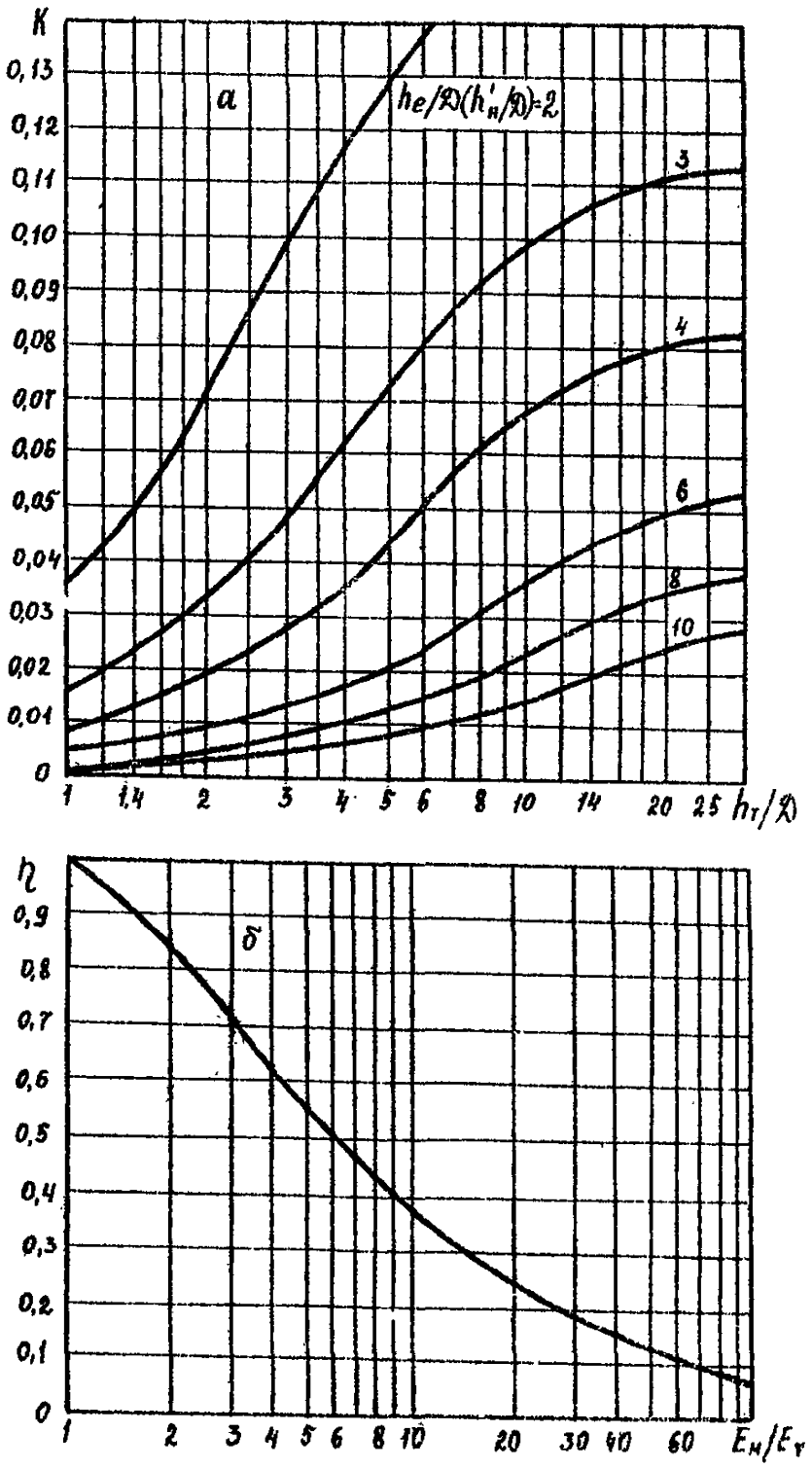


Рис. 4. Графики для определения коэффициентов K и η

$a_{доп}$ – предельно допустимое ускорение колебаний насыпи на торфе, определяемое в зависимости от типа проектируемого покрытия и частоты собственных колебаний насыпи (рис. 5).

Ускорение колебаний проектируемой насыпи на торфе определяют по формуле

$$a_{факт} = A \cdot \omega^2, \qquad (5)$$

где A – амплитуда колебаний насыпи;

ω – круговая частота собственных колебаний насыпи.

6.3. Динамический расчет необходимо производить в такой последовательности:

а) определить частоту собственных колебаний насыпи на торфяном основании;

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 величины.

Определение частот собственных колебаний насыпей на торфяном основании

6.4. При определении частот собственных колебаний в зависимости от отношения толщины насыпи к толщине оставляемого слоя торфа следует рассматривать два расчетных случаях: I-й – $h_н : h_т > 0{,}5$ и 2-й $h_н : h_т < 0{,}5$ для $h_н < 100$ см.

Частоты собственных колебаний насыпей на торфяном основании для I-го случая определяют по номограмме (рис. 6), которая составлена на основе решения задачи о колебаниях насыпи на упругом торфяном основании.

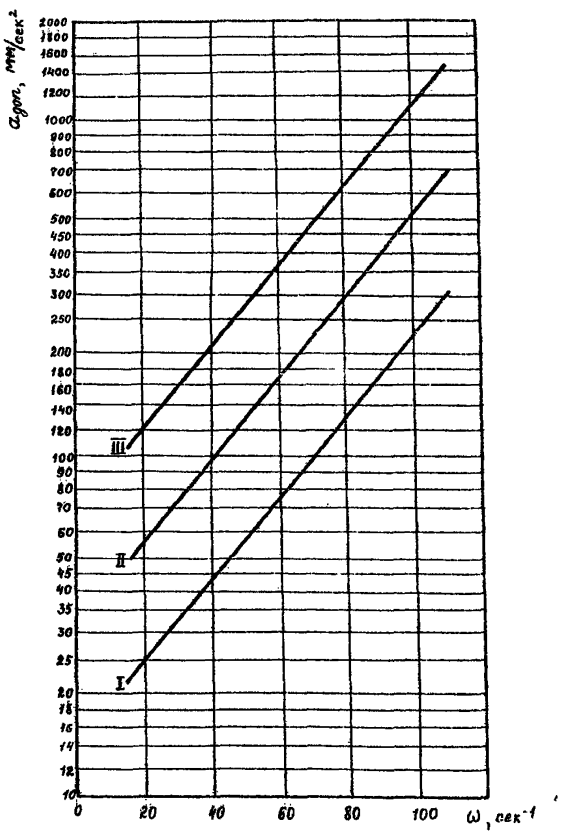


Рис. 5. Предельно допустимые ускорения колебаний земляного полотна для:
I – усовершенствованных капитальных покрытий
II – усовершенствованных облегченных покрытий
III – переходных покрытий

Частоты собственных колебаний насыпей на торфяном основании для по расчетного случая определяют по формуле

$$\omega = \frac{1}{h_т}\sqrt{\frac{E_{пр} \cdot g}{\gamma_т \cdot \left(1+\frac{K_2}{3K_1}\right)} \cdot \frac{K_2}{K_1}} \quad . \qquad (6)$$

В формуле (6) $E_{пр}$ – приведенный модуль упругости торфа, учитывающий отсутствие боковых перемещений колеблющейся призмы торфяного основания.

$$E_{пр} = E_т \cdot \frac{(1-\mu)^2}{1-2\mu} \quad , \qquad (7)$$

где μ – среднее значение коэффициента Пуассона для торфа. При отсутствии данных испытаний допускается принять μ = 0,35. В этом случае $E_{пр}$ = I,4I $E_т$;

$$K_1 = \frac{h_н}{h_т} \; ;$$

$$K_2 = \frac{\gamma_т}{\gamma_н} \; .$$

Здесь $h_н$ – общая толщина насыпного слоя;

$h_т$ – толщина слоя торфа под насыпью;

$\gamma_н$ и $\gamma_т$ – соответственно средние плотности грунта насыпи и торфа.

Общая толщина насыпного слоя (см.рис. 2)

$$h_н = h + S_{общ} = H_{од} + h'_н \; . \qquad (8)$$

Определение амплитуды колебаний (динамических перемещений) насыпи

6.5. Амплитуду колебаний насыпи на торфе при воздействии на дорожную конструкцию транспортной нагрузки (расчетная нагрузка группы А) определяют по формуле

$$A = \ell\,(K_{дин} - 1) \quad , \qquad (9)$$

где ℓ – упругий прогиб торфяного основания, вызываемый статической нагрузкой от колеса расчетного автомобиля;

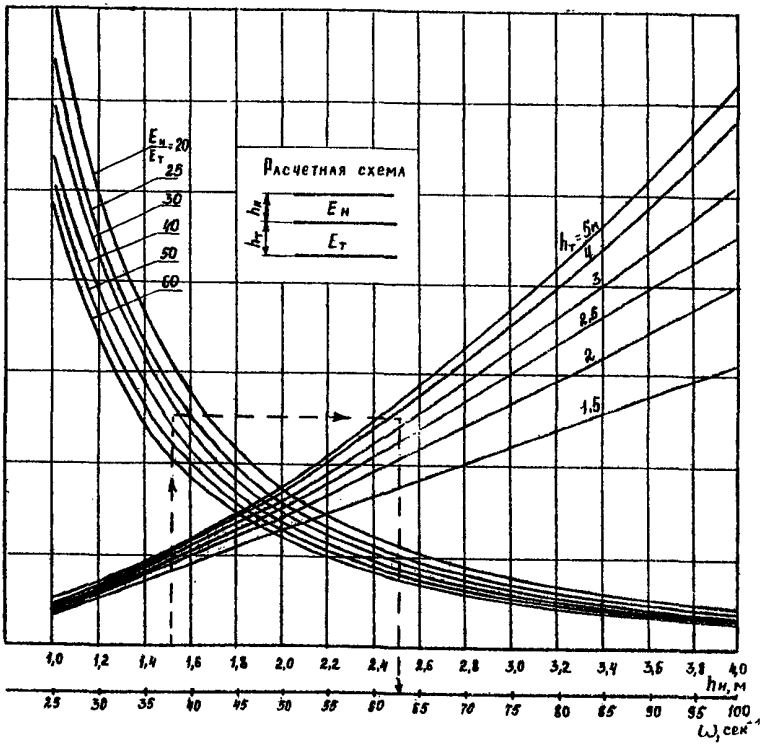


Рис. 6. Номограмма для определения частот собственных колебаний насыпей на торфяном основании (I-ый расчетный случай)

$K_{дин}$ – динамический коэффициент, характеризующий увеличение прогиба за счет эффекта подвижности нагрузки.

6.6. Упругий прогиб торфяного основания

$$l = \frac{1{,}3 \cdot p \cdot D}{E_т} K \cdot \eta \,, \qquad (10)$$

где p и D – параметры расчетной нагрузки; ($p \cdot D$ = 198 кгс/см).

Коэффициент K определяют по графику (см.рис. 4а) в зависимости от отношений $h_э / D$ и $h_т / D$ ($h_э$ – толщина однородного песчаного слоя, эквивалентного по распределению напряжений многослойной системе дорожная одежда – насыпь).

$$h_э = h + S_{общ} - H_{од} + h_{экв} = h'_н + h_{экв} \,, \qquad (11)$$

где $h_{экв}$ – эквивалентная толщина дорожной одежды.

$$h_{экв} = H'_{од} \sqrt[3]{\frac{E_{ср}}{E'_н}} \,. \qquad (12)$$

Здесь $H'_{од}$ – толщина слоев дорожной одежды, расположенных выше песчаного слоя (см.рис. 2);

$E_н$ – модуль упругости грунта насыпи;

$E_{ср}$ – средний модуль упругости дорожной одежды.

$$E_{ср} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + E_3 h_3 + \ldots + E_i h_i}{h_1 + h_2 + h_3 + \ldots + h_i} \,, \qquad (13)$$

где $E_1, E_2, E_3 \ldots E_i$ – расчетные модули упругости отдельных конструктивных слоев, толщина которых равна $h_1, h_2, h_3, \ldots h_i$.

6.7. Динамический коэффициент $K_{дин}$, равный отношению максимального динамического прогиба торфяного основания, вызываемого движущимся автомобилем, к величине статического прогиба определяют по графику (рис. 7) в зависимости от коэффициента демпфирования ψ. Для I-го расчетного случая он равен $8{,}6/\psi$, для 2-го – $0{,}33/E_т$ ($E_т$ в МПа) или $3{,}3/E_т$ ($E_т$ в кгс/см^2).

Мероприятия по снижению ускорений колебаний земляного полотна

6.8. В случаях, когда не выполняется требование формулы (4), 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 ускорения колебаний.

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

7. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ

7.1 Степень устойчивости основания при воздействии на него нагрузки от массы сооружаемого земляного полотна оценивают по величине коэффициента безопасности наиболее слабого слоя. Коэффициент безопасности $K_{без}$ определяют как отношение безопасной нагрузки $p_{без}$ к расчетной $p_{расч}$.

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

$$p_{без}^{нач} = N \cdot \tau , \qquad (14)$$

где N – параметр, зависящий от ширины насыпи по подошве и относительной глубины расположения слабого слоя, значения которого следует принимать по табл. 9;

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

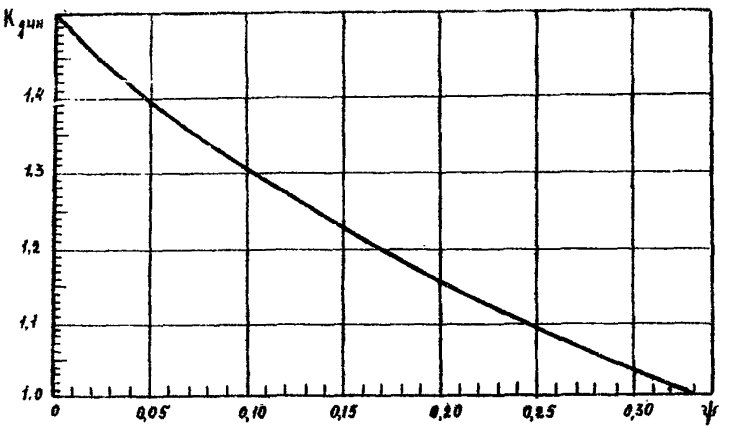


Рис. 7. График для определения динамического коэффициента

Таблица 9

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

7.3. Расчетную нагрузку $p_{расч}$ определяют по методике, приведенной в разделе 8 настоящих норм.

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

$K_{без}^{нач} \geqslant 1$ – основание I типа

$1 > K_{без}^{нач} \geqslant 0,7$ – основание II типа

$0,7 > K_{без}^{нач} \geqslant 0,2$ – основание IIIА типа

$K_{без}^{нач} < 0,2$ – основание IIIБ типа

7.5. Степень устойчивости предварительно консолидированного слабого основания рассчитывают по методике, изложенной в "Руководстве по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах" Минтрансстроя.

Для ориентировочных расчетов безопасной нагрузки предварительно консолидированных оснований следует использовать следующую формулу

$$p_{без}^{кон} = \frac{N \cdot \tau}{(1 - U_0 \cdot \lambda_{сж})^3}, \qquad (15)$$

где $\lambda_{сж}$ – величина относительной конечной осадки сжатия основания при предварительном уплотнении (см.раздел 8 настоящих норм);

U_0 – степень консолидации основания при предварительном уплотнении (см.раздел 10 настоящих норм).

8. РАСЧЕТ ОСАДКИ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Прогноз конечной величины осадки

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

$$S_{общ} = S_{сж} + S_{от}, \qquad (I6)$$

где $S_{общ}$ – общая осадка насыпи;

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

$S_{от}$ – осадка отдавливаемых слоев болотной залежи, происходящая за счет выдавливания (выпора) слабых грунтов 3 б типа при любой скорости отсыпки, частичного выдавливания грунтов 3 а типа при невозможности их предварительного уплотнения в течение строительного периода вследствие того, что в силу их высокой сжимаемости и низкой прочности нагрузка от возводимой насыпи растет быстрее, чем упрочнение слабого грунта, боковых деформаций слабых грунтов 2 строительного типа при интенсивности отсыпки насыпи в первые десять суток более 2,0 м.

8.2. Осадку $S_{от}$ вычисляют по формуле

$$S_{от} = \sum_{i}^{n} \lambda_{i\,от} \cdot h_i = \sum_{i}^{n} S_{i\,от}, \qquad (I7)$$

где $S_{i\,от}$ – осадка i-го отдавливаемого слоя;

$\lambda_{i\,от}$ – относительная деформация i-го отдавливаемого слоя толщиной h_i;

n – количество расчетных слоев болотной залежи.

Относительную деформацию $\lambda_{i\,от}$ определяют по табл. I0 в зависимости от величины сопротивления сдвигу τ по крыльчатке расчетного слоя в природном залегании.

Таблица 10

τ, МПа	$\lambda_{от}$	τ, МПа	$\lambda_{от}$	τ, МПа	$\lambda_{от}$
0,001	I	0,006	0,55	0,011	0,20
0,002	I	0,007	0,45	0,012	0,15
0,003	I	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

8.3. Осадку $S_{сж}$ определяют по формуле

$$S_{сж} = \sum_{1}^{n} \lambda_{i\,сж} (h_i - S_{i\,от}), \qquad (18)$$

где $\lambda_{i\,сж}$ – относительная вертикальная деформация расчетного слоя, полученная по данным испытаний в компрессионном приборе для нагрузки, действующей на этот слой.

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

При относительной мощности слабого основания $\frac{H}{B_1} < 0{,}5$ (H – мощность слабых грунтов, B_1 – ширина насыпи по подошве) вертикальные напряжения по глубине можно считать постоянными. Величину напряжений для всей мощности залежи в этом случае принимают равной величине расчетной нагрузки $p_{расч}$. При $\frac{H}{B_1} > 0{,}5$ величину напряжений следует рассчитывать по методике, изложенной в обязательном приложении 2.

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

$$p_{расч} = K_0 \lambda_{сж} + p_0 , \qquad (19)$$

где $\lambda_{сж}$ – относительная осадка сжатия основания

$$\lambda_{сж} = \frac{S_{сж}}{H - S_{от}} . \qquad (20)$$

Параметры нагрузки K_0 и P_0 определяют по следующим формулам:

$$K_0 = \gamma_н^{взв} H(1 - \lambda_{от}) \qquad (21)$$

$$P_0 = \gamma_н (h + h_{гв}) + \gamma_н^{взв}(H\lambda_{от} - h_{гв}), \qquad (22)$$

где $\gamma_н$ и $\gamma_н^{взв}$ – соответственно плотности грунта насыпи, расположенного выше и ниже уровня грунтовых вод;

h – проектная высота насыпи (рабочая отметка);

$h_{гв}$ – расстояние от поверхности болота до горизонта грунтовых вод (см.рис. 2); $\lambda_{от} = S_{от}/H$.

Если $h_{гв} > S_{общ}$ в формулах (21) и (22) принимают $\gamma_н^{взв} = \gamma_н$.

8.6. Параметры сжимаемости $\lambda_{i\,сж}$ определяют по результатам компрессионных испытаний и расчет осадки ведут графо-аналитическим методом. При отсутствии данных компрессионных испытаний допускается пользоваться номограммой (рис. 8), построенной на основе обобщения результатов обработки многочисленных компрессионных кривых. В качестве характеристики сжимаемости болотной залежи принят коэффициент пористости e_0.

Номограмма связывает четыре параметра: K_0, P_0, $\lambda_{сж}$ и e_0 (e_0 – 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_0, найти искомое значение $\lambda_{сж}$.

Прогноз осадки во времени

8.7. Продолжительность осадки t для достижения требуемой степени консолидации U слабого основания определяют по номограмме (рис. 9) в зависимости от режима возведения насыпи, характеризуемого величиной нагрузки P_1, допускаемой по условиям устойчивости основания, и длительностью строительного периода t_0, в течение которого нагрузка на основание возрастает от P_1 до $P_{расч}$.

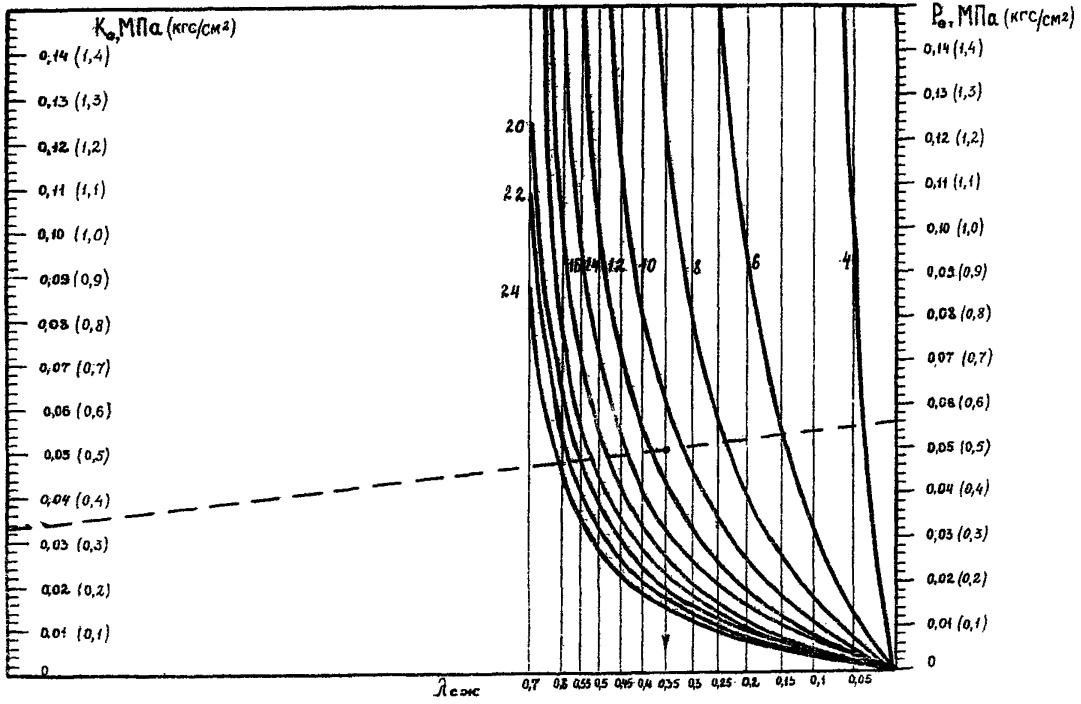


Рис. 8. Номограмма для определения осадки (цифры на кривых – коэффициент пористости торфа e_0)

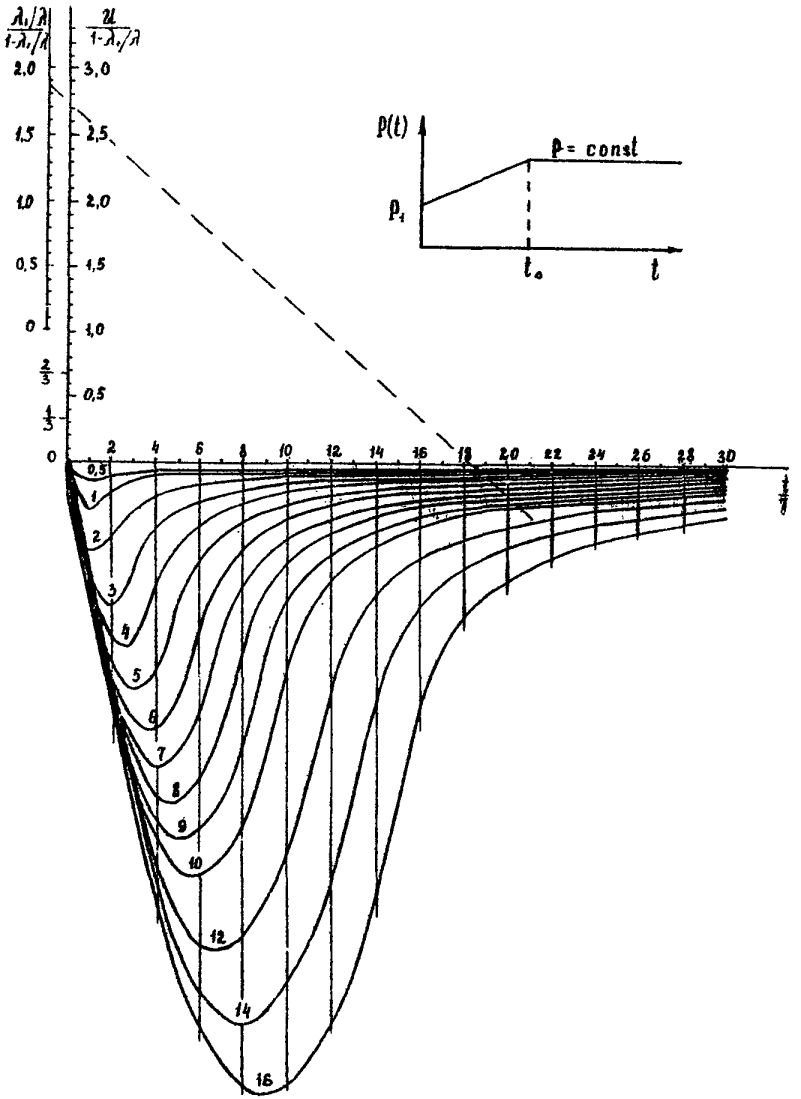


Рис. 9. Номограмма для расчета продолжительности осадки (цифры на кривых – отношение $\frac{t}{T}$)

Номограмма связывает четыре комплексных параметра: $\frac{t_o}{T}$, $\frac{t}{T}\cdot\frac{\lambda_1/\lambda}{1-\lambda_1/\lambda}$ и $\frac{U}{1-\lambda_1/\lambda}$,

где t_o – продолжительность строительного периода;

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. Методика расчета по номограмме приведена в примерах расчета (см.обязательное приложение 4).

8.8. Консолидационный параметр T определяют по следующим зависимостям:

а) для оснований I типа по устойчивости

$$T=\frac{2,5\cdot 10^{-5}S_{сж}}{(\lambda_{сж}\cdot p)^2}\ ; \qquad (23)$$

б) для оснований II и III А типа по устойчивости

$$T=\frac{4\cdot 10^{-2}S_{сж}}{\lambda_{сж}\cdot p}\ ; \qquad (24)$$

где T – консолидационный параметр, в сут;

p – нагрузка от массы насыпи, действующая на основание, в МПа;

$\lambda_{сж}$ – относительная деформация сжатия слабого основания от действия нагрузки p;

$S_{сж}$ – осадка сжимающихся слоев слабого основания, см.п. 8.3 настоящих норм.

8.9. Расчет длительности осадки оснований I типа по устойчивости при быстрой отсыпке насыпи можно вести также по следующей формуле

$$\frac{t}{T}=\frac{U}{1-U}\ . \qquad (25)$$

9. УСТАНОВЛЕНИЕ СРОКОВ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

9.I. Сроки устройства дорожной одежды определяют расчетом согласно пп. 8.7–8.9 настоящих норм в зависимости от требуемой степени консолидации U основания и уточняют в период строительства по данным результатов наблюдений за осадками основания согласно обязательному приложению 3. Требуемая степень консолидации основания перед устройством дорожной одежды приведена в табл. II.

Таблица II

Расчетная осадка сжатия, $S_{сж}$, см	Требуемая степень консолидации U для типа покрытия			
	усовершенствованные капитальные	усовершенствованные облегченные	переходные	низшие
до 30	0,90	0,85	0,80	0,75
Св. 30 до I00	0,95	0,90	0,85	0,80
Св. 100 до I70	0,96	0,92	0,87	0,82
Св. I70	0,98	0,95	0,90	0,85

I0. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТАБИЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВО ВРЕМЕНИ

Обеспечение стабильности дорожной конструкции

I0.I. Для получения устойчивого и стабильного во времени земляного полотна проектом должны быть предусмотрены следующие конструктивно-технологические мероприятия:

установлен режим возведения насыпи во времени (темп отсыпки и продолжительность предварительной консолидации) из условия обеспечения устойчивости слабого основания;

определены параметры временной пригрузки (схема пригрузки, тол-

щина пригрузочного слоя и длительность его выдерживания), обеспечивающей стабилизацию слабого основания в течение заданного срока строительства;

определена строительная высота насыпи, учитывающая необходимый запас на осадку.

Расчет режима возведения насыпи

10.2. Режим возведения насыпи (темп отсыпки) зависит от устойчивости основания. Для оснований I и III Б типа по устойчивости скорость отсыпки не регламентируется, для оснований II и III А типа отсыпка насыпи должна вестись постепенно (медленная отсыпка) в течение определяемого расчетом времени t_0 (строительного периода), необходимого для упрочнения слабых грунтов в результате их консолидации.

10.3. Следует соблюдать следующий порядок расчета:

а) назначают толщину насыпи (величину нагрузки p_1), которую можно отсыпать сразу (в один прием). Величину нагрузки p_1 принимают равной $p_1 = \gamma_н h_1$,

где $\gamma_н$ – плотность грунта насыпи;

h_1 – толщина насыпи, отсыпаемой сразу, которая принимается равной

$$h_1 = \frac{p_{без}^{нач}}{\gamma_н} \quad \text{при} \quad \frac{p_{без}^{нач}}{\gamma_н} > S_{от}$$

$$h_1 = S_{от} \quad \text{при} \quad \frac{p_{без}^{нач}}{\gamma_н} \leq S_{от}$$

б) устанавливают продолжительность строительного 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 $\lambda_1/\lambda_{расч} = p_1/p_{расч}$ и U_0 по табл. 12 (где U_0 – степень консолидации основания, достигаемая в течение строительного периода t_0).

Таблица I2

$\lambda_{ск}$	< 0,05	0,05–0,I5	0,I5–0,30	0,30–0,40	> 0,40
U_0	0,25	0,33	0,5	0,6	0,65

Затем на вертикальных шкалах номограммы (рис. I0) находят точки, отвечающие заданным значениям переменных $\frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $\frac{U_0}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и соединяют их линией путем наложения линейки. Точка пересечения этой линии со шкалами $\frac{t_0}{t}$, и $\frac{t}{t}$ при условии $\frac{t_0}{t}=\frac{t}{t}$ дает искомое значение $\frac{t_0}{t}$;

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

$$q=\frac{30(h_н-h_1)}{t_0},$$

где $h_н$ – проектная толщина насыпи;

г) устанавливают длительность консолидации основания t, необходимую для достижения заданной степени консолидации U. Для этого, по известным параметрам $\frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$, $\frac{U}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}}$ и $\frac{t_0}{t}$ по номограмме (см.рис. 9), определяют искомый параметр $\frac{t}{t}$. При значениях $\frac{t_0}{t}$ и $\frac{t}{t}$, не превышающих 7, следует пользоваться номограммой, приведенной на рис. I0, которая является деталью номограммы, изображенной на рис. 9.

Расчет временной пригрузки

I0.4. При строительстве дорог на болотных грунтах применяют следующие конструктивно-технологические решения временной пригрузки (рис. II):

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 эле-

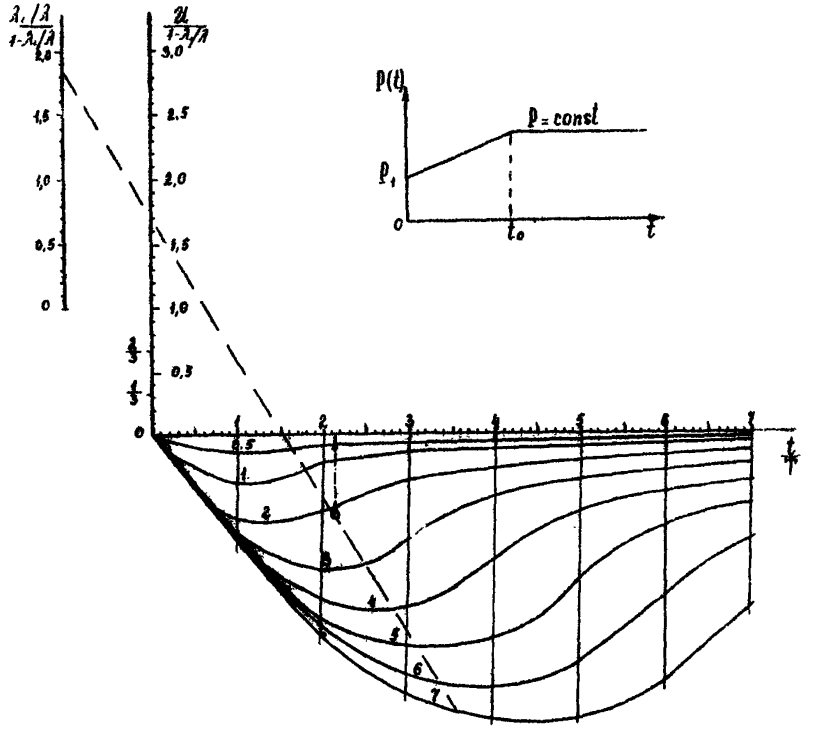


Рис. 10. Номограмма для расчета продолжительности строительного периода (Цифры на кривых – отношение $\frac{t}{t^*}$)

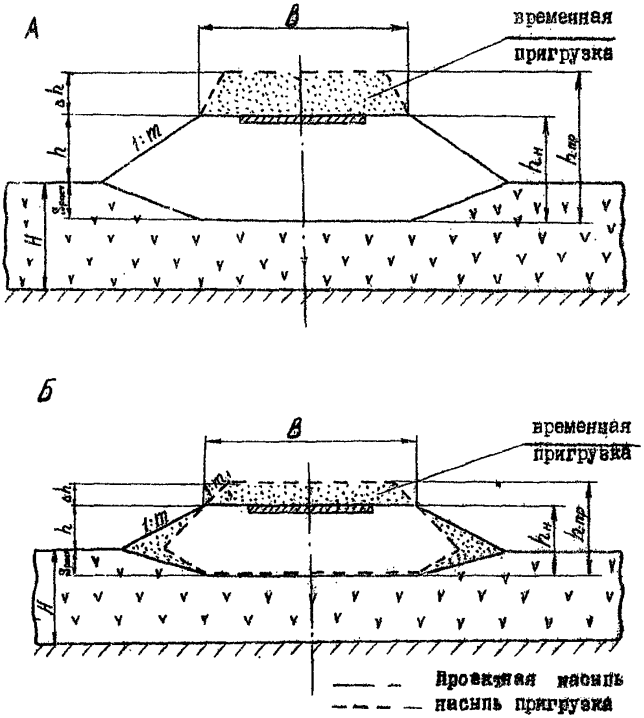


Рис. II. Конструктивные решения земляного полотна с временной пригрузкой

А – в виде дополнительного слоя насыпи

В – в виде суженной насыпи (насыпь-пригрузка)

ментах конструкции в соответствии с проектом организации строительства; при использовании схемы Б – грунт распределяют на откосы.

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

$$\Delta p = \alpha \cdot p_{расч} , \qquad (26)$$

где α – коэффициент перегрузки, минимальные значения которого следует принимать по графику (рис. I2).

б) Коэффициент перегрузки α для пригрузки, выполняемой по схеме Б, определяют методом последовательного приближения в зависимости от требуемых сроков консолидации основания по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{2h}{B}(m - m_1) , \qquad (27)$$

где h – высота проектируемой насыпи;

B – ширина проектируемой насыпи по верху;

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 = I,5-4,0; m_1 = I-2.

Коэффициенты перегрузки α, вычисленные по формуле (27), должны быть не менее минимальных значений, полученных из графика на рис. I2. В противном случае пригрузка по схеме Б неэффективна, и для получения требуемого коэффициента перегрузки необходимо применять временную пригрузку по схеме А.

в) определяют консолидационный параметр $T_{пр}$ для насыпи с пригрузкой по формулам (23) или (24). При этом параметры λ, p и $S_{сж}$

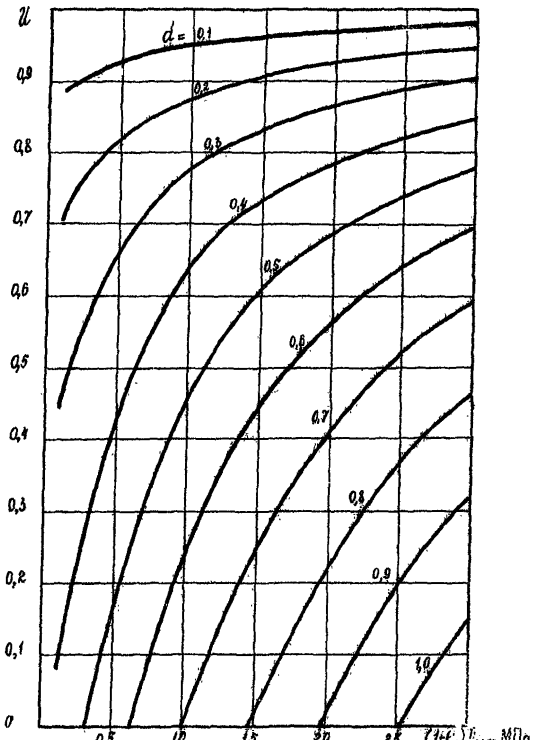


Рис. I2. График для определения минимального коэффициента перегрузки

для насыпи с пригрузкой вычисляют по формулам

$$\lambda_{сж\ пр} = \lambda_{сж\ расч}(1 + \beta d), \qquad (28)$$
$$S_{сж\ пр} = S_{сж\ расч}(1 + \beta d),$$
$$p_{пр} = p_{расч}(1 + d),$$

где β – безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{1}{1 + 1{,}52(1 + e_o)\,p_{расч}}, \qquad (29)$$

где $p_{расч}$ –расчетная нагрузка на основание в МПа;

e_o – средневзвешенное значение коэффициента пористости основания.

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

$$K^{нач}_{без\ пр} = \frac{p^{нач}_{без}}{p_{пр}}. \qquad (30)$$

Если $K^{нач}_{без\ пр} \geq I$, допускается быстрая отсыпка насыпи и временной пригрузки и расчет длительности консолидации производят по формуле:

$$t = \frac{U\,T_{пр}}{\beta d}. \qquad (31)$$

При $K^{нач}_{без\ пр} < I$, определяют коэффициент безопасности основания с учетом его упрочнения при медленной отсыпке насыпи:

$$K^{кон}_{без\ пр} = \frac{p^{нач}_{без}}{p_{пр}(1 - U_o \cdot \lambda_{сж\ пр})}, \qquad (32)$$

где U_o – степень консолидации основания, достигаемая за время строительного периода t_o. Определяется по табл. I2 в зависимости от величины $\lambda_{сж\ пр}$.

Если $K^{кон}_{без\ пр} \geq I$, допускается медленная отсыпка насыпи и пригрузки. Расчет длительности консолидации производят по методике, изложенной в п. I0.3 настоящих норм.

Назначение строительной высоты насыпи

10.5. Для приложения заданной расчетной нагрузки на основание ($h_н$ – при отсыпке насыпи без пригрузки или $h_{пр}$ – при отсыпке с пригрузкой) насыпь в течение строительного периода необходимо отсыпать выше проектных отметок на высоту ΔX. Строительную высоту насыпи h_0 определяют по формуле

$$h_0 = h + \Delta X, \qquad (33)$$

где h – проектная высота насыпи (рабочая отметка).

10.6. Толщину слоя насыпи ΔX, отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации длительно протекающих осадок консолидации, определяют по формуле

$$\Delta X = \Delta h + S_{сж\,расч}[1 - U_0(1 + \beta d)], \qquad (35)$$

где Δh – толщина слоя пригрузки;

$S_{сж\,расч}$ – осадка за счет сжатия торфа от насыпи проектной толщины;

U_0 – степень консолидации, определяемая по табл. 12;

β и d – коэффициенты, методика определения которых приведена в п. 10.4 настоящих норм.

10.7. Краткие указания по технологии сооружения земляного полотна на болотных грунтах приведены в рекомендуемым приложении 5.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Степень однородности грунта по какому-либо показателю оценивают с помощью следующих характеристик рассеяния: размаха, дисперсии, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации.

Размах R определяют как разность между наибольшей и наименьшей вариантами статистической совокупности:

$$R = X_{max} - X_{min} \qquad (I.1)$$

Дисперсию выборки вычисляют по формуле

$$G^2 = \frac{\Sigma (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}, \qquad (I.2)$$

где X_i – частные значения измеряемой величины;

$\bar{X}$ – среднее арифметическое значение;

n – число измерений.

Среднее квадратическое отклонение (или стандарт) отдельного измерения

$$G = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}. \qquad (I.3)$$

Для малых выборок ($n \leq 20$) стандарт с достаточной точностью можно определить по формуле

$$G = \frac{R}{d_n}, \qquad (I.4)$$

где d_n – коэффициент, зависящий от объема выборки и определяемый по табл. I.

Коэффициент вариации показателя

$$K_g = \frac{G}{\bar{X}} \cdot 100. \qquad (I.5)$$

Коэффициент Стьюдента t_α для разных значений надежности P в зависимости от числа измерений n определяют по табл. 2.

Таблица I

n	d_n	n	d_n
2	I,I28	I2	3,258
3	I,693	I3	3,336
4	2,059	I4	3,407
5	2,326	I5	3,472
6	2,534	I6	3,532
7	2,704	I7	3,588
8	2,847	I8	3,640
9	2,970	I9	3,689
I0	3,078	20	3,735
II	3,I73	25	~4,0
		I00	~5,0

Таблица 2

$n-1$	Доверительные вероятности (коэффициенты надежности)				
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
I	2	3	4	5	6
2	I,336	I,886	2,92	4,30	9,92
3	I,250	I,638	2,35	3,I8	5,84
4	I,I90	I,533	2,I3	2,77	4,60
5	I,I56	I,476	2,02	2,57	4,03
6	I,I34	I,440	I,943	2,45	3,7I
7	I,II9	I,4I5	I,895	2,36	2,50
8	I,I08	I,397	I,860	2,3I	3,36
9	I,I00	I,383	I,833	2,26	3,25
I0	0,093	I,372	I,8I2	2,23	3,I7
II	I,088	I,363	I,796	2,20	3,II
I2	I,083	I,356	I,782	2,I8	3,06
I3	I,079	I,350	I,77I	2,I6	3,0I

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
I4	I,076	I,345	I,76I	2,14	2,98
I5	I,074	I,34I	I,753	2,I3	2,95
I6	I,07I	I,337	I,746	2,I2	2,92
I7	I,069	I,333	I,740	2,II	2,90
I8	I,067	I,330	I,734	2,I0	2,88
I9	I,066	I,328	I,729	2,09	2,86
20	I,064	I,325	I,725	2,09	2,84
2I	I,063	I,323	I,72I	2,08	2,83
22	I,06I	I,32I	I,7I7	2,07	2,82
23	I,060	I,3I9	I,7I4	2,07	2,8I
24	I,059	I,3I8	I,7II	2,06	2,80
25	I,058	I,3I6	I,708	2,06	2,79
26	I,058	I,3I5	I,706	2,06	2,78
27	I,057	I,3I4	I,703	2,05	2,77
28	I,056	I,3I3	I,70I	2,05	2,76
29	I,055	I,3II	I,699	2,04	2,76
30	I,055	I,3I0	I,697	2,04	2,75
40	I,050	I,303	I,684	2,02	2,70
60	I,046	I,296	I,67I	2,00	2,66
I20	I,04I	I,289	I,658	I,98	2,62
∞	I,036	I,282	I,645	I,96	2,58

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ ЗАЛЕЖИ

Сжимающие напряжения ρ_i для каждого расчетного слоя при трапецеидальной эпюре внешней нагрузки определяют по формуле

$$\rho_i = \mathcal{J}\rho = (\mathcal{J}_л + \mathcal{J}_п)\rho ,$$

где $\mathcal{J} = f(\frac{a}{z}, \frac{b}{z})$ – функция относительных величин ($\frac{a}{z}$, $\frac{b}{z}$);

a – длина треугольной эпюры нагрузки;

b – длина прямоугольной эпюры нагрузки;

z – глубина рассматриваемой точки;

ρ – интенсивность нагрузки, соответствующая прямоугольной части эпюры.

Величину $\mathcal{J}$ определяют по графику (рис. I) как алгебраическую сумму коэффициентов, соответствующих нагрузке слева ($\mathcal{J}_л$) и справа ($\mathcal{J}_п$) от вертикали, проходящей через рассматриваемую точку.

П р и м е р. Определим вертикальное напряжение от насыпи шириной поверху I2 м, высотой 3 м и заложением откоса I:I,5 для точки, расположенной по оси насыпи на глубине 5 м.

При нагрузке, действующей слева и справа (рассматриваемое сечение симметрично относительно оси),

$$\frac{a}{z} = \frac{4,5}{5} = 0,9; \qquad \frac{b}{z} = \frac{6}{5} = I,2 .$$

Отсюда $a = 3 \cdot I,5 = 4,5$ м.

По графику (см.рис. I) находим $\mathcal{J}_л = \mathcal{J}_п = 0,465$.

Следовательно,

$$\rho_z = (\mathcal{J}_л + \mathcal{J}_п)\rho = 0,93\rho .$$

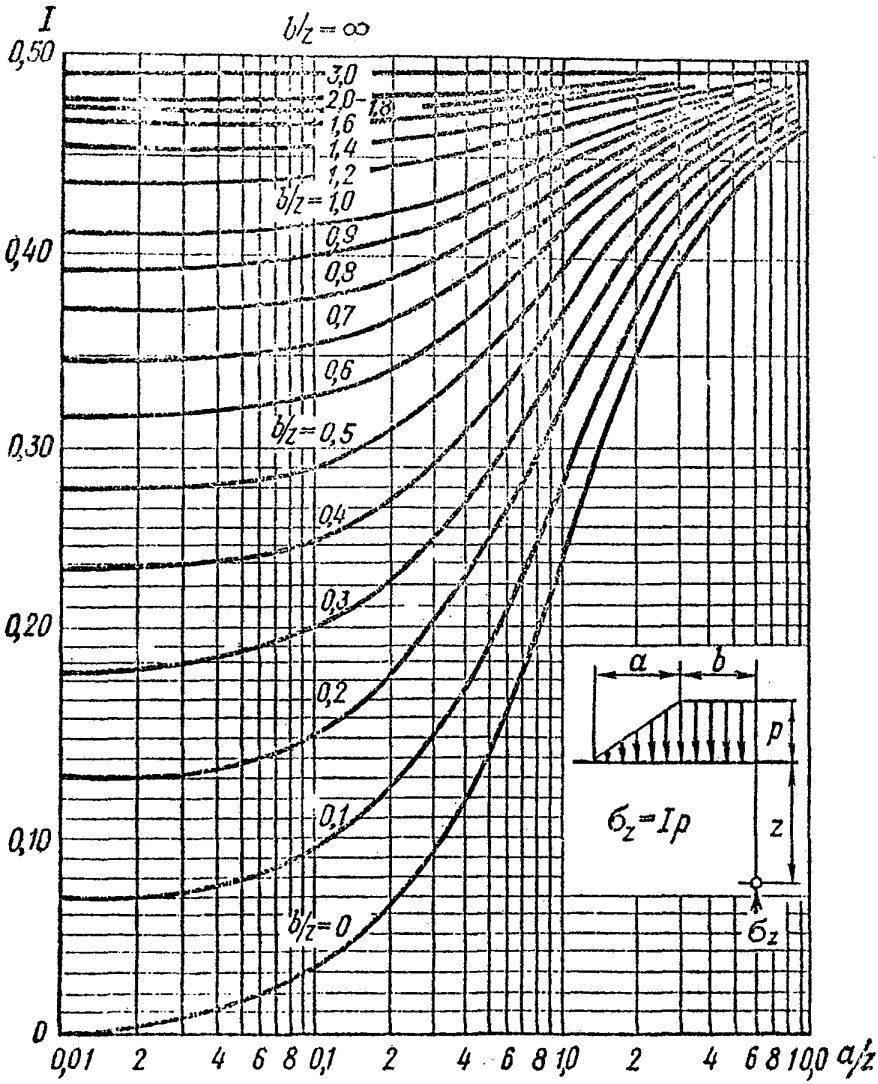


Рис. I. График для определения сжимающих напряжений от нагрузки, меняющейся по закону прямой

Если рассматриваемую точку переместить на 3 м влево от оси, получим:

при нагрузке, действующей слева,

$$\frac{a}{\ell} = \frac{4,5}{5} = 0,9 ;$$

$$\frac{b}{\ell} = \frac{3}{5} = 0,6 ; \qquad \gamma_n = 0,435;$$

при нагрузке, действующей справа,

$$\frac{a}{\ell} = \frac{4,5}{5} = 0,9 ; \qquad \frac{b}{\ell} = \frac{9}{5} = 1,8 ; \qquad \gamma_n = 0,48 .$$

Следовательно,

$$p_x = (0,435 + 0,48)p = 0,915p.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ ОСНОВАНИЯ

Осуществление конструктивно-технологических решений земляного полотна на болотах без выторфовывания требует строгого выполнения указаний в части соблюдения заданного режима отсыпки грунта, высоты и ширины насыпи, установления времени завершения консолидации торфяного основания. Выполнить это можно на основе анализа действительной картины хода осадок во времени. В связи с этим, организация контрольных наблюдений и качественное их проведение является одним из главнейших условий успешной реализации принятой технологии возведения земляного полотна. Стоимость работ по проведению наблюдений должна быть включена в строительную смету.

Контрольные наблюдения при сооружении земляного полотна на болотах должны включать систематическое измерение толщины отсыпаемых слоев $h_н(t)$, высоты насыпи $h(t)$ и осадок слабого основания $S(t)$ в заданные моменты времени t.

По результатам этих измерений устанавливают:

соответствие фактического режима отсыпки проектному;

соответствие строительной высоты насыпи h_0 фактически отсыпанной высоте насыпи $h(t)$;

соответствие расчетной осадки $S_{расч}$ фактическим $S(t)$;

фактические объемы работ по отсыпке нижней части насыпи.

Контроль осадок основания и толщины насыпного слоя производят по осадочным маркам. Марка (рис. I) представляет собой металлическую плиту из 2-3 мм стали размером 400х400 мм и более (в плане), перпендикулярно которой в ее центре приварена труба диаметром I,5-2,0 дюйма (или стальной пруток диаметром 24-30 мм) длиной 3000 мм. В верхней части трубы закреплена муфта (переходник) для наращивания марки

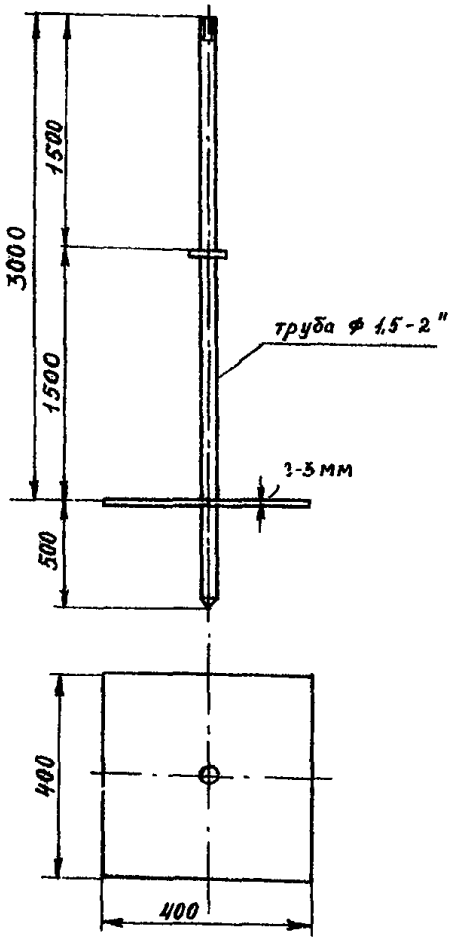


Рис. I. Осадочная марка

по высоте. К стержню марки через 1500 мм приварена площадка для установки нивелирной рейки. Для повышения устойчивости марки, особенно в период ее установки, стержень марки рекомендуется выпустить ниже опорной площадки на 400–500 мм.

Величину осадки устанавливают путем нивелирования, следя за перемещением марки по отношению к постоянному реперу. Осадку слабого основания $S(t)$ можно определить также по данным измерения фактических толщин насыпи $h_н(t)$ и высоты насыпи $h(t)$ в заданный момент времени t:

$$s(t) = h_н(t) - h(t).$$

Контрольные измерения следует вести в период возведения насыпи ежедневно, первые три месяца после полной отсыпки насыпи – еженедельно, в дальнейшем – до сдачи дороги в эксплуатацию – два раза в месяц. Результаты измерений регистрируют в нивелировочном журнале, а данные по высоте, толщине насыпи, величине осадки и степени консолидации основания с нарастающим итогом заносят в ведомость (табл. I).

Таблица I

Дата измерений	Осадочная марка № I5 (ПК 24 + 00), $S_{общ}$ = 80 см			
	Толщина насыпи	Высота насыпи	Осадка	Степень консолидации $u(t)$
I.IУ.85	200	I85	I5	0,25
2.IУ.85	200	I72	28	0,47
3.IУ.85	200	I68	32	0,53
I.У.85	200	I40	60	0,75

Степень консолидации основания в данный момент времени вычисляют по формуле

$$u(t) = \frac{S(t)}{S_{общ}},$$

где $S(t)$ – фактическая осадка в момент времени t;

$S_{общ}$ – общая осадка насыпи согласно п. 8.I настоящих норм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Обязательное

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I

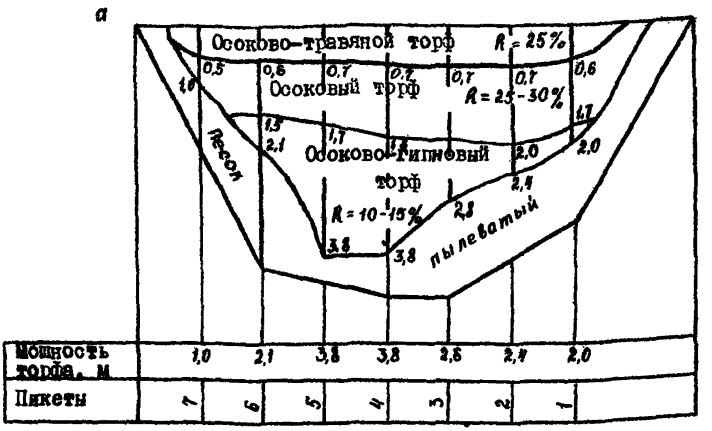
Требуется запроектировать земляное полотно и дорожную одежду с асфальтобетонным покрытием дороги Ш категории через болото.

И с х о д н ы е д а н н ы е. Перспективная интенсивность движения – 800 автомобилей группы А в сутки на одну полосу движения. Грунт насыпи – песок мелкий. Средняя плотность грунта насыпи и материалов дорожной одежды $\gamma_н$ – 2,0 т/м^3. Уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью болота. Плотность грунта насыпи во взвешенном состоянии $\gamma_н^{взв}$ – I,0 т/м^3. Продолжительность строительства земляного полотна $t_{стр}$ = 200 сут.

Инженерно-геологическая характеристика

По результатам инженерно-геологических изысканий перехода через болото выделены однородные слои и определены расчетные показатели основных физико-механических характеристик. Болото неосушенное, покрыто березово-ольховым лесом. Уклон минерального дна практически отсутствует. По глубине болота выделено три слоя торфа: осоково-травяной с R = 25%, осоковый с R = 25–30% и осоково-гипновый с R = I0–I5%. Мощность болотных грунтов I–3,8 м (рис. Iа).

В результате статистической обработки показателей влажности выделены однородные слои для расчета осадок торфяного основания. Границы слоев по плотности-влажности практически совпадают с границами геологического разреза. Для каждого из слоев определены расчетные показатели влажности, плотности сухого грунта, коэффициента пористости и показателя сжимаемости. Расчетная геотехническая модель торфяного основания применительно к расчету осадки приведена на рис. Iб.



б

Торф осоково-травяной R = 25%	
W = 6,3;	e_0 = 9,7; γ_d = 0,137 г/см³; γ_s = 1,47 г/см³
Торф осоковый R = 25-30%	
W = 6,32;	e_0 = 9,72; γ_d = 0,138 г/см³; γ_s = 1,54 г/см³
Торф осоково-гипновый R = 10-15%	
W = 7,69;	e_0 = 11,6; γ_d = 0,12 г/см³; γ_s = 1,51 г/см³

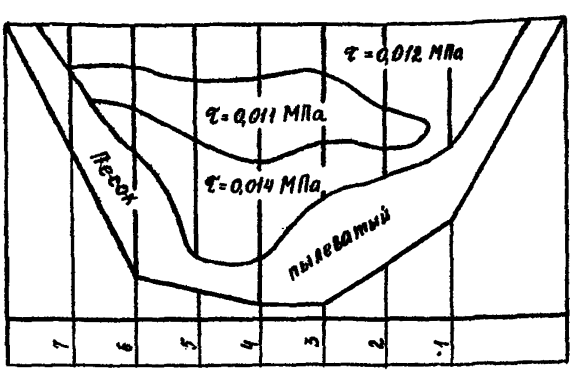


Рис. I. Геотехническая характеристика болотной залежи: а) геологический разрез; б) геотехническая модель для расчета осадок; в) геотехническая модель для расчета устойчивости

Сопоставление средних значений показателей сжимаемости при помощи критерия Стьюдента показало, что различия между ними незначимы и всю залежь можно считать статистически однородной по сжимаемости. Средние значения показателей сжимаемости для всей слабой толщи можно определить как средневзвешенные. По напряженному состоянию залежь также можно принять однородной, поскольку H/B_1 = 3,5/I8 = 0,I95< 0,5 (см.раздел 8 настоящих норм).

По результатам статистической обработки испытаний торфяной залежи крыльчаткой определены расчетные характеристики сопротивления сдвигу и установлено, что по прочности торфяная залежь неоднородна по глубине (рис. Iв). Почти на всем протяжении болота для среднего слоя получено наименьшее сопротивление сдвигу по крыльчатке- 0,0IIМПа.

Расчетный поперечник (ПК 4) характеризуется следующими показателями: H = 380 см; e_0= I0,7; γ_d= 0,I38 г/см^3; τ = 0,0II МПа.

Выбор конструкции земляного полотна

Выбор конструкции земляного полотна производим в зависимости от типа основания по устойчивости. Слабая толща представлена торфяными грунтами, относящимися к строительному типу 2 (табл. 5). Согласно табл. 4 настоящих норм, основание относится ко I типу по устойчивости. Следовательно, торфяной грунт можно использовать в качестве основания насыпи при постепенном загружении слабого основания.

Расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна

Принята следующая конструкция дорожной одежды на переходе через болото: двухслойный асфальтобетон толщиной 9 см, черный гравий - I0см и оптимальная гравийная смесь - 35 см. В качестве подстилающего слоя служит мелкий песок, из которого отсыпано земляное полотно.

Расчетные модули упругости материалов конструктивных слоев дорож-

ной одежды приняты по Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83/Минтрансстрой, земляного полотна по табл.7 настоящих норм.

Требуемый общий модуль упругости дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием принят равным $E_{общ}$ = 220 МПа по графику (см.рис. I) для перспективной интенсивности движения 800 автомобилей группы А. Результаты расчета прочности дорожной одежды по Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа приведены в табл. I.

Таблица I

Материал конструктивного слоя	Модуль упругости слоя, МПа	Толщина слоя, см	$\frac{h}{D}$	$\frac{E_{общ}}{E_в}$	$\frac{E_н}{E_в}$	Общий модуль упругости дорожной одежды, МПа
						$E_{общ}$ = 220
Асфальтобетон (верхний слой)	E_1 =I200	h_1= 4	0,I23	0,I83	0,I6	$E'_{общ}$ = I92
Асфальтобетон (нижний слой)	E_2 = 800	h_2= 5	0,I53	0,24	0,207	$E''_{общ}$ = I66
Черный гравий	E_3 = 300	h_3=I0	0,303	0,552	0,465	$E'''_{общ}$= I40
Оптимальная гравийная смесь	E_4 = 200	h_4=35	I,06	0,7	0,392	$E^{н}_{общ}$=78,4
Песок мелкий	E_5= 80					

Таким образом, требуемый общий модуль упругости на поверхности насыпи $E^{н}_{общ\ треб}$ равен 78,4 МПа.

Проверка толщины дорожной одежды по условию сдвига в песчаном грунте земляного полотна и асфальтобетонного покрытия на растяжение при изгибе, показывает, что принятая конструкция обеспечивает работу дорожной одежды без накопления остаточных деформаций.

Расчет конечной осадки и толщины насыпного слоя

Рабочая отметка насыпи (высота насыпи h) на расчетном попереч-

нике по условиям проектирования продольного профиля принята равной 2,5 м.

Расчет осадки $S_{от}$, происходящей за счет отдавливания слабых слоев производим по формуле (I7) с использованием табл. I0. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2

h_i, м	τ, МПа	$\lambda_{i\,от}$	$S_{i\,от}=\lambda_{i от} h_i$, м
0,8	0,0I2	0,I5	0,I2
I,2	0,0II	0,20	0,24
I,8	0,0I4	0,05	0,09

$\Sigma h_i = H = 3{,}8$ м $\qquad S_{от}=\Sigma S_{i\,от} = 0{,}45$ м

Расчет осадки $S_{сж}$ производим по номограмме (см.рис. 8). Предварительно определяем параметры K_0 и P_0 в уравнении (I9), выражающем зависимость нагрузки от осадки насыпи:

$K_0 = 0{,}0I[\gamma_н^{взв} H(1-\lambda_{от})] = 0{,}0I/I \cdot 3{,}8(I - 0{,}II8)/ = 0{,}0335$ МПа,

где $\lambda_{от} = \dfrac{S_{от}}{\Sigma h_{i\,от}} = \dfrac{0{,}45}{3{,}8} = 0{,}II8$

$P_0 = 0{,}0I\left[\gamma_н(h+h_{гв}) + \gamma_н^{взв}(H\cdot\lambda_{от} - h_{гв})\right] =$

$= 0{,}0I\left[2(2{,}5 + 0) + I(3{,}8 \cdot 0{,}II8 - 0)\right] = 0{,}0545$ МПа.

На номограмме (см.рис. 8) точки с пометками $K_0 = 0{,}0335$ и $P_0 = 0{,}0545$ МПа соединяем прямой. В точке пересечения этой линии с кривой $e_0 = I0{,}7$ находим $\lambda_{сж} = 0{,}35$.

По формуле (20) находим $S_{сж}$

$$S_{сж} = \lambda_{сж}(H - S_{от}) = 0{,}35(3{,}8 - 0{,}45) = I{,}I7 \text{ м}$$

Общая осадка торфяной залежи равна

$$S_{общ} = S_{сж} + S_{от} = I{,}I7 + 0{,}45 = I{,}62 \text{ м}.$$

Расчетная нагрузка на основание равна

$$P_{расч} = K_0\lambda_{сж} + P_0 = 0{,}0335 \cdot 0{,}35 + 0{,}0545 = 0{,}0662 \text{ МПа}.$$

По графику (см.рис. 3) для $\lambda_{сж} = 0{,}35$ и $\gamma_d = 0{,}138$ г/см^3 определяют модуль упругости торфа под насыпью $E_т = 3{,}2$ МПа. Зная отношения $\frac{h'_н}{D} = \frac{250 + 162 - 54}{33} = 10{,}8$,

$$\frac{h_т}{D} = \frac{380 - 162}{33} = 6{,}6,$$

$$\frac{E_н}{E_т} = \frac{80}{3{,}3} = 24{,}2,$$

определяем коэффициенты $m = 0{,}9655$ (см.табл. 8), $K = 0{,}009$ (см. рис. 4а), $\eta = 0{,}22$ (см.рис. 4б).

Вычисляем фактический модуль упругости насыпи на торфе по формуле (3)

$$E^н_{общ} = \frac{E_н \cdot E_т}{E_т m + 1{,}3 E_н K \eta} = \frac{80 \cdot 3{,}2}{3{,}2 \cdot 0{,}9655 + 1{,}3 \cdot 80 \cdot 0{,}009 \cdot 0{,}22} = 77{,}7 \text{ МПа}.$$

Полученный фактический модуль упругости насыпи (77,7 МПа) меньше требуемого (78,4 МПа). Поскольку отличие не превышает 5% ($\frac{77{,}7 - 78{,}4}{78{,}4} \cdot 100 = 0{,}9\%$), принятая толщина насыпи ($h_н = h + \delta_{общ} =$ $= 250 + 162 = 412$ см) обеспечит требуемую прочность дорожной одежды.

Расчет толщины для остальных поперечников ведут аналогично.

Динамический расчет не производим, поскольку во всех случаях толщина насыпного слоя более 3 м. Для этого случая (см.раздел 6) ускорения колебаний земляного полотна от воздействия транспортной нагрузки не превышает допустимых величин по условиям вибропрочности асфальтобетонного покрытия.

Расчет устойчивости основания

Безопасная нагрузка на основание

$$p^{нач}_{без} = N \cdot \tau = 3{,}9 \cdot 0{,}011 = 0{,}0429 \text{ МПа},$$

где $N = 3{,}9$ по табл. 9 для относительной глубины расположения слабого слоя, равной $\frac{1{,}8}{1{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 2 + 12} = 0{,}092$.

Определяем коэффициент безопасности:

$$K_{без}^{нач} = \frac{p_{без}^{нач}}{p_{расч}} = \frac{0,0429}{0,0662} = 0,65$$

Поскольку $K_{без}^{нач} = 0,65 < 0,7$, основание ША типа по устойчивости (см.раздел 7 настоящих норм). Следовательно, устойчивость основания при возведении насыпи сразу на всю высоту с учетом запаса на осадку не обеспечена. Насыпь необходимо возводить медленно по методу постепенного загружения.

Расчет режима возведения насыпи

Определяем толщину насыпи (величину нагрузки p_1), которую можно отсыпать сразу (в один прием). Принимаем $p_1 = p_{без}^{нач} = 0,0429$ МПа и $h_1 = \frac{p_{без}^{нач}}{\gamma_н} = \frac{0,0429}{1,8 \cdot 10^{-2}} = 2,38$ м, поскольку $h_1 > S_{от}$ $(2,38 > 0,45)$ - см.п. 10.3 настоящих норм.

Устанавливаем продолжительность строительного периода t_0, в течение которого необходимо возводить насыпь до проектной толщины из условия обеспечения устойчивости основания. Вычисляем отношение $\frac{\lambda_1}{\lambda_{расч}} = \frac{p_1}{p_{расч}} = \frac{0,0429}{0,0662} = 0,65$. Степень консолидации основания, происходящей в течение строительного периода, принимаем по табл. 12 ($U_0 = 0,60$ для $\lambda_{сж} = 0,35$).

Зная отношения $\frac{\lambda_1 / \lambda_{расч}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}} = \frac{0,65}{1 - 0,65} = 1,86$ и $\frac{U_0}{1 - \lambda_1 / \lambda_{расч}} = \frac{0,60}{1 - 0,65} = 1,71$, на номограмме (см.рис. 9) через эти точки проводим прямую и на сетке шкал $\frac{t_0}{T}$ и $\frac{t}{T}$, при условии $\frac{t_0}{T} = \frac{t}{T}$, находим $\frac{t_0}{T} = 2,15$.

По формуле (24) вычисляем консолидационный параметр T слабого основания:

$$T = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot S_{сж}}{\sqrt{\lambda_{сж} \cdot p_{расч}}} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 117}{\sqrt{0,35 \cdot 0,0662}} = 31 \text{ сут.}$$

Следовательно, $t_0 = 2,15 \cdot T = 2,15 \cdot 31 = 67$ сут.

Определяем длительность консолидации основания, необходимую для достижения заданной степени консолидации основания U, позволяющей производить устройство дорожной одежды с капитальным типом покрытия. По табл. II находим $U = 0,96$ для $S_{сж} = 117$ см. С помощью номограммы для отношений $\frac{\lambda_1/\lambda_{расч}}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}} = \frac{0,65}{1 - 0,65} = 1,86$, $\frac{U}{1-\lambda_1/\lambda_{расч}} = \frac{0,96}{1 - 0,65} = 2,74$ и $\frac{t_0}{T} = 2,15$ находим $\frac{t}{T} = 18,7$.

Следовательно, $t = 18,7 \cdot T = 18,7 \cdot 31 = 580$ сут. $= 1,59$ года.

Время консолидации превышает установленную продолжительность строительства $t_{стр}$ ($580 > 200$ сут.), поэтому необходимо применение мероприятий для ускорения консолидации.

Для сокращения сроков строительства применяем временную пригрузку. Определяем минимальное значение коэффициента перегрузки. Для $(1 + e_0)\, p_{расч} = (1 + 10,7) \cdot 0,0662 = 0,77$ МПа и $U = 0,96$ по рис. II находим $d_{min} = 0,10$. Поскольку срок консолидации необходимо сократить в $\frac{580}{200} = 2,9$ раза, коэффициент перегрузки принимаем ориентировочно равным $d = 3 \cdot d_{min} \approx 0,3$.

Проверим устойчивость слабого основания для насыпи с временной пригрузкой.

Определяем по формуле (27) нагрузку на основание и его осадки при возведении насыпи с пригрузкой:

$$p_{пр} = 0,0662(1 + 0,3) = 0,0861 \text{ МПа},$$
$$S_{сж\ пр} = 117(1 + 0,46 \cdot 0,3) = 133 \text{ см},$$
$$\lambda_{сж\ пр} = 0,35(1 + 0,46 \cdot 0,3) = 0,40,$$

где коэффициент β равен

$$\beta = \frac{1}{1 + 1,52(1+e_0) \cdot p_{расч}} = \frac{1}{1 + 1,52(1 + 10,7)0,0662} = 0,46.$$

Коэффициент безопасности основания с учетом его упрочнения при медленной отсыпке насыпи и пригрузки по формуле (31) равен:

$$K_{без}^{кон} = \frac{p_{без}^{нач}}{p_{пр}\,(1 - U_0 \cdot \lambda_{сж\ пр})^3} = \frac{0,0429}{0,0861(1 - 0,65 \cdot 0,40)^3} = 1,23,$$

где $U_0 = 0,65$ для $\lambda_{пр} = 0,40$ по данным табл. I2.

Поскольку $K^{кон}_{без\ пр} = I,23 > I,0$, устойчивость основания при медленной отсыпке насыпи и пригрузки обеспечена.

Определяем консолидационный параметр $T_{пр}$ для насыпи с пригрузкой:

$$T_{пр} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot S_{сж\ пр}}{\sqrt{\lambda_{сж\ пр} \cdot P_{пр}}} = \frac{4 \cdot I0^{-2} \cdot I33}{\sqrt{0,40 \cdot 0,086I}} = 29 \text{ сут.}$$

Расчет режима возведения насыпи с пригрузкой ведем аналогично расчету режима возведения насыпи без пригрузки.

Принимаем $h_1 = 2,38$ м и $P_1 = 0,0429$ МПа, $U_0 = 0,65$ для $\lambda_{пр} = 0,40$ (см.табл. I2).

Находим $\frac{\lambda_1}{\lambda_{пр}} = \frac{P_1}{P_{пр}} = \frac{0,0429}{0,086I} = 0,498$; $\frac{\lambda_1/\lambda_{пр}}{1-\lambda_1/\lambda_{пр}} = \frac{0,498}{I - 0,498} = 0,99$;

$\frac{U_0}{1-\lambda_1/\lambda_{пр}} = \frac{0,65}{I - 0,498} = I,29.$

По номограмме (см.рис. I0) находим $\frac{t_0}{T_{пр}} = 3,I$, следовательно, $t_0 = 3,I \cdot T_{пр} = 3,I \cdot 29 = 90$ сут.

Определяем длительность консолидации насыпи с временной пригрузкой. Находим требуемую степень консолидации $U_{пр}$ насыпи с пригрузкой:

$$U_{пр} = U \frac{S_{сж\ расч}}{S_{сж\ пр}} = \frac{0,96 \cdot II7}{I33} = 0,84 .$$

Вычисляем вспомогательные параметры:

$\frac{\lambda_1/\lambda_{пр}}{1-\lambda_1/\lambda_{пр}} = 0,99$; $\frac{U_{пр}}{1-\lambda_1/\lambda_{пр}} = \frac{0,84}{I - 0,498} = I,67$; $\frac{t_0}{T_{пр}} = 3,I.$

По номограмме (см.рис. 9) находим $\frac{t}{T} = 6,2.$

Следовательно, $t = 6,2 \cdot T_{пр} = 6,2 \cdot 29 = I80$ сут.

Полученный срок консолидации меньше требуемого (I80 < 200 сут), поэтому принятая величина временной пригрузки является достаточной.

Определяем толщину слоя временной пригрузки:

$$\Delta h = d \cdot h_н = 0,3 \cdot 4I2 = I25 \text{ см.}$$

Месячная интенсивность отсыпки насыпи равна

$$q = \frac{30(412 + 125 - 238)}{90} = 100 \text{ см}.$$

При возведении насыпи сначала быстро отсыпают насыпь толщиной 2,38 м, а далее в течение 90 сут оставшуюся часть насыпи и временную пригрузку с таким расчетом, чтобы в течение месяца толщина насыпи увеличивалась на 1,0 м. График отсыпки насыпи приведен на рис. 2.

Определение строительной высоты насыпи

Толщину слоя насыпи ΔX, отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации осадок, определяем по формуле (33)

$$\Delta X = \Delta h + S_{\text{см расч}}[1 - U_0(1 + \beta d)] = 125 + 117 \cdot [1 - 0{,}60(1 + 0{,}46 \cdot 0{,}3)] = 162 \text{ см},$$

где $U_0 = 0{,}60$ (по табл. 12) для $\lambda_{\text{см расч}} = 0{,}35$.

Строительная высота насыпи равна

$$h_0 = h + \Delta X = 250 + 162 = 412 \text{ см}.$$

Пример 2

Требуется запроектировать земляное полотно и дорожную одежду с покрытием облегченного типа для дороги IУ категории.

И с х о д н ы е д а н н ы е. Перспективная интенсивность движения 100 автомобилей группы А в сутки на 1 полосу движения. Мощность торфа в залежи H – 250 см. Расчетное сопротивление сдвигу торфа по крыльчатке τ – 0,018 МПа. Средняя плотность сухого торфа в залежи γ_d – 0,15 г/см^3. Начальный коэффициент пористости e_0 – 8. Грунт насыпи – песок мелкий. Средняя плотность грунта насыпи и дорожной одежды $\gamma_н$ – 2,0 т/м^3. Уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью болота. Плотность грунта насыпи во взвешенном состоянии $\gamma_н^{взв}$ – 1,0 т/м^3. Продолжительность строительства земляного полотна $t_{стр}$ = = 70 сут.

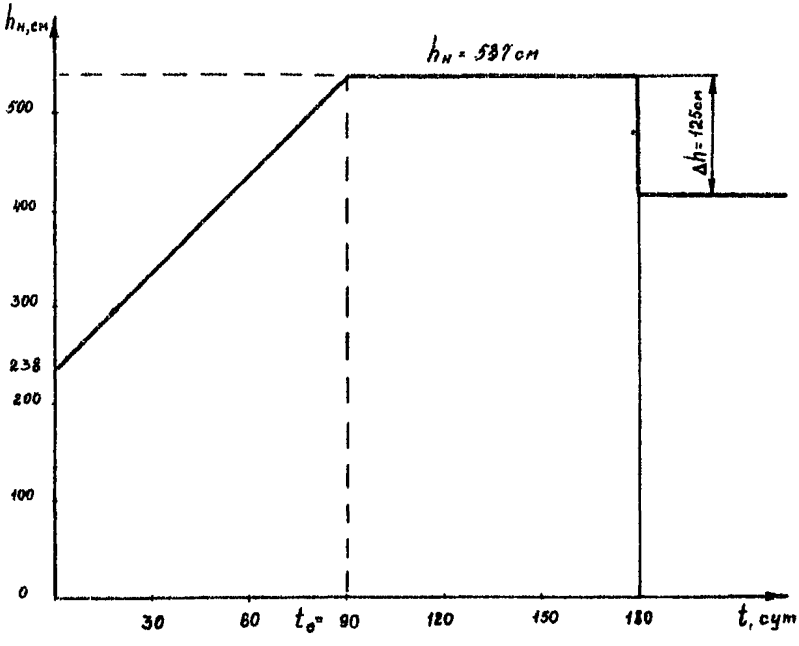


Рис. 2. График возведения насыпи во времени

Расчет прочности дорожной одежды

Принята конструкция дорожной одежды с покрытием из плотного дегтебетона. По графику (см.рис. I) требуемый общий модуль упругости дорожной одежды $E_{общ\ треб}$ = I3I МПа.

По инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83/Минтрансстрой определяем общие модули упругости на поверхности нижележащих слоев, заканчивая расчет определением требуемого модуля упругости $E^{н}_{общ\ треб}$ на поверхности насыпи. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Материал конструктивного слоя	Модуль упругости слоя, МПа	Толщина слоя, см	$\frac{h}{D}$	$\frac{E_{общ}}{E_{в}}$	$E_{н}/E_{в}$ (по номограмме)	Общий модуль упругости на поверхности слоя, МПа
Плотный среднезернистый дегтебетон	800	5	0,I52	0,I64	0,I36	$E_{общ}$ = I3I $E'_{общ}$ = I09
Крупнопористый дегтебетон гравийный	500	8	0,242	0,2I8	0,I6	$E''_{общ}$ = 80
Гравийные материалы	200	I5	0,455	0,40	0,262	$E^{н}_{общ}$ = 52
Песок мелкий	80					

Как видно из таблицы, требуемый модуль упругости на поверхности насыпи $E^{н}_{общ\ треб}$ равен 52 МПа.

Проверочные расчеты показывают, что равновесие по сдвигу в песчаном слое обеспечено, следовательно, толщина дорожной одежды подобрана правильно.

Расчет конечной осадки и толщины насыпного слоя

По условиям проектирования продольного профиля h = I,2 м.

Определяем осадку $S_{ост}$

$$S_{ост} = \lambda_{ост} \cdot H = 0 \cdot 2,5 = 0 \text{ м},$$

где $\lambda_{от} = 0$ для $\tau = 0{,}018$ МПа по табл. 10.

Для определения осадки $S_{сж}$ предварительно определяем параметры K_0 и P_0, входящие в уравнение (19):

$$K_0 = 0{,}01\left[\gamma_н^{безв} H (1 - \lambda_{от})\right] = 0{,}01\left[1 \cdot 2{,}5(1 - 0)\right] = 0{,}025 \text{ МПа}$$

$$P_0 = 0{,}01\left[\gamma_н (h + h_{гв}) + \gamma_н^{безв}(H\lambda_{от} - h_{гв})\right] = 0{,}01\left[2(1{,}2 + 0) + 1(2{,}5 \cdot 0 - 0)\right] = 0{,}024 \text{ МПа}.$$

По номограмме (см.рис. 8) точки с пометками $K_0 = 0{,}025$ и $P_0 = 0{,}024$ соединяем прямой. В точке пересечения этой линии с кривой $e_0 = 8$ находим $\lambda_{сж} = 0{,}14$.

По формуле (20) находим

$$S_{сж} = \lambda_{сж}(H - S_{от}) = 0{,}14(2{,}5 - 0) = 0{,}35 \text{ м}.$$

Общая осадка торфяной залежи равна

$$S_{общ} = S_{сж} + S_{от} = 0{,}35 + 0 = 0{,}35 \text{ м}.$$

Расчетная нагрузка на основание

$$P_{расч} = K_0 \lambda_{сж} + P_0 = 0{,}025 \cdot 0{,}14 + 0{,}024 = 0{,}028 \text{ МПа}.$$

Модуль упругости торфа, уплотненного весом насыпи, $E_т$ равен 2,1 МПа (для $\lambda_{сж} = 0{,}14$ и $\gamma_d = 0{,}15$ г/см^3 по графику на рис. 3).

Зная отношения $\frac{h'_н}{D} = \frac{120 + 35 - 28}{33} = 3{,}85$; $\frac{h_т}{D} = \frac{250 - 35}{33} = 6{,}5$ и $\frac{E_н}{E_т} = \frac{80}{2{,}1} = 38{,}1$, определяем коэффициенты $m = 0{,}902$ (см. табл. 8), $K = 0{,}06$ (см.рис. 4а) и $\eta = 0{,}18$ (см.рис. 4б).

Вычисляем фактический модуль упругости насыпи на торфе по формуле (3):

$$E^н_{общ} = \frac{80 \cdot 2{,}1}{2{,}1 \cdot 0{,}902 + 1{,}3 \cdot 80 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}18} = 55{,}7 \text{ МПа}$$

Общий модуль упругости проектируемой насыпи $E_{общ}$ равный 55,7 МПа, больше требуемого ($E^н_{общ\,треб} = 52$ МПа), следовательно, принятая толщина насыпи 155 см обеспечивает требуемую прочность дорожной одежды.

Динамический расчет земляного полотна

Исходные данные $h_н = 1{,}2 + 0{,}35 = 1{,}55$ м, $h_т = 2{,}5 - 0{,}35 =$

= 2,I5 м, $E_т$ = 2,I МПа.

Определяем частоту собственных колебаний насыпи на торфе

$$\frac{h_н}{h_т} = \frac{I,55}{2,I5} = 0,72 \text{ (I-й расчетный случай).}$$

Для известных $\frac{E_н}{E_т} = \frac{80}{2,I} = 38,I$; $h_н$ = I,55 м и $h_т$ = 2,I5 м по номограмме (см.рис. 6) находим ω = 68 $с^{-I}$.

Вычисляем упругий прогиб торфяного основания по формуле (I0)

$$\ell = \frac{I,3\,p\,D}{E_т} K \cdot \eta = \frac{I,3 \cdot I98}{2,I} \cdot 0,035 \cdot 0,I8 = 0,077 \text{ см} = 0,77 \text{мм},$$

где K = 0,035 для $\frac{h_\ell}{D} = \frac{I75}{33} = 5,3$ и $\frac{h_т}{D} = \frac{2I5}{33} = 6,5$;

η = 0,I8 для $\frac{E_н}{E_т} = 38,I$.

$$h_\ell = I,55 - 0,28 + 0,28 \sqrt[3]{\frac{393}{80}} = I,75 \text{ м},$$

где $E_{ср} = \frac{800 \cdot 5 + 500 \cdot 8 + 200 \cdot I5}{5 + 8 + I5} = 393$ МПа.

Коэффициент демпфирования $\psi = \frac{8,6}{\omega} = \frac{8,6}{68} = 0,I26$,

$K_{дин}$ = I,25 (см.рис. 7) для ψ = 0,I26.

Амплитуда колебаний насыпи

$$A = 0,77(I,25 - I,0) = 0,I93 \text{ мм}.$$

Ускорение колебаний проектной насыпи

$$a_{факт} = 0,I93 \cdot 68^2 = 892 \text{ мм/с}^2.$$

Предельно допустимое значение ускорений колебаний земляного полотна при ω 68 $с^{-I}$ для покрытий облегченного типа по графику (см. рис. 5) равно 2I0 мм/$с^2$. Так как $a_{факт} > a_{доп}$, толщина насыпи по условиям динамики недостаточна. Дополнительно проведенные расчеты показывают, что условия динамики обеспечивается при толщине насыпного слоя $h_н = h + S_{общ}$ = I,6 + 0,43 = 2,03 м. В этом случае K_o = 0,025 МПа; p_o = 0,032 МПа; $\lambda_{сж}$ = 0,I7; $p_{расч}$ = 0,025 · 0,I7 + 0,032 = = 0,036 МПа; $S_{сж}$ = 0,I7 · 2,5 = 0,43 м.

Расчет устойчивости основания

Безопасная нагрузка на основание

$$p_{без}^{нач} = N \cdot \tau = 3,44 \cdot 0,018 = 0,062 \text{ МПа},$$

где N = 3,44 по табл. 9 для относительной глубины расположения слабого слоя, равной $\frac{2,5}{1,5 \cdot 1,6 \cdot 2 + 10} = 0,17$.

Определяем коэффициент безопасности:

$$K_{без}^{нач} = \frac{p_{без}^{нач}}{p_{расч}} = \frac{0,062}{0,036} = 1,72.$$

$K_{без}^{нач} > 1,0$, следовательно, устойчивость основания при возведении насыпи расчетной толщины в режиме быстрой отсыпки обеспечена (основание I типа по устойчивости).

Расчет длительности осадки во времени

Определяем требуемую степень консолидации торфяного основания из условия возможности устройства дорожной одежды с облегченным типом покрытия. По табл. 11 для $S_{сж}$ = 43 см находим $U = 0,90$.

Время, необходимое для достижения заданной степени консолидации, вычисляем по формуле (25):

$$t = \frac{T \cdot U}{1 - U} = \frac{28,7 \cdot 0,9}{1 - 0,9} = 258 \text{ сут},$$

где $T = \frac{2,5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{сж}}{(\lambda_{сж} \cdot p_{расч})^2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 43}{(0,17 \cdot 0,036)^2} = 28,7$ сут.

Уменьшить срок консолидации можно с помощью временной пригрузки. Определяем минимальное значение коэффициента перегрузки. Для $(1 + e_o) \cdot p_{расч} = (1 + 8)\ 0,036 = 0,324$ МПа и $U = 0,90$ по рис. 11 находим $a_{min} = 0,12$. Исходя из того, что время консолидации необходимо сократить в $\frac{228}{70} = 3$ раза, коэффициент перегрузки ориентировочно принимаем равным $a = 3 \cdot a_{min} = 0,36$.

Определяем устойчивость основания при отсыпке насыпи с временной

пригрузкой

$$p_{пр} = p_{расч}(1+d) = 0{,}036\ (1 + 0{,}36) = 0{,}049\ \text{МПа};$$

$$K^{нач}_{без\ пр} = \frac{0{,}062}{0{,}049} = 1{,}27.$$

Коэффициент безопасности больше единицы, следовательно, устойчивость основания обеспечена при отсыпке насыпи и пригрузки в режиме быстрого нагружения.

Определяем консолидационный параметр $T_{пр}$ для насыпи с временной пригрузкой:

$$T_{пр} = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{сж\ пр}}{(\lambda_{сж\ пр} \cdot p_{пр})^2} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 53}{(0{,}21 \cdot 0{,}049)^2} = 12{,}5\ \text{сут},$$

где $S_{сж\ пр} = S_{сж\ расч}(1 + \beta d) = 43(1 + 0{,}67 \cdot 0{,}36) = 53$ см;

$\lambda_{сж\ пр} = \lambda_{сж\ расч}(1 + \beta d) = 0{,}17(1 + 0{,}67 \cdot 0{,}36) = 0{,}21$;

$$\beta = \frac{1}{1 + 1{,}52(1+e_0)p_{расч}} = \frac{1}{1 + 1{,}52(1 + 8)0{,}036} = 0{,}67.$$

Длительность консолидации насыпи с пригрузкой определяем по формуле (30):

$$t_{пр} = \frac{u\ T_{пр}}{\beta d} = \frac{0{,}90 \cdot 12{,}5}{0{,}67 \cdot 0{,}36} = 47\ \text{сут}.$$

Полученное время консолидации $t_{пр} = 47 < t_{стр} = 70$ сут, следовательно, коэффициент перегрузки можно уменьшить.

Принимаем $d = 0{,}3$, тогда

$$S_{сж\ пр} = 43(1 + 0{,}67 \cdot 0{,}3) = 52\ \text{см};$$

$$\lambda_{сж\ пр} = 0{,}17(1 + 0{,}67 \cdot 0{,}3) = 0{,}20;$$

$$p_{пр} = 0{,}036(1 + 0{,}3) = 0{,}047\ \text{МПа};$$

$$T_{пр} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 52}{(0{,}20 \cdot 0{,}047)^2} = 14{,}1\ \text{сут}.$$

Продолжительность консолидации насыпи с пригрузкой

$$t_{пр} = \frac{0{,}9 \cdot 14{,}1}{0{,}67 \cdot 0{,}3} = 63\ \text{сут}.$$

Таким образом, применение временной пригрузки ($d = 0{,}3$) позво-

ляет уменьшить срок консолидации на 258 – 63 = 195 сут.

Толщина пригрузочного слоя

$$\Delta h = \alpha \cdot h_н = 0{,}3 \cdot 2{,}03 = 0{,}61 \text{ м}.$$

Рассмотрим возможность устройства пригрузки на данном поперечнике по схеме Б (насыпь–пригрузка). Принимаем показатели крутизны откосов $m = 2$, $m_1 = 1$. Тогда для насыпи высотой $h = 1{,}6$ м и шириной $b = 10$ м по формуле (27) определим коэффициент перегрузки.

$$\alpha = \frac{2h}{B}(m - m_1) = \frac{2 \cdot 1{,}6}{10}(2 - 1) = 0{,}32.$$

Так как $0{,}32 > 0{,}30$, принятые геометрические параметры насыпи-пригрузки обеспечивают получение эффективной временной пригрузки.

Определение строительной высоты насыпи

Толщину слоя насыпи ΔX, отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации осадок, определяем по формуле (34):

$$\Delta X = \Delta h + S_{сж\,расч}\left[1 - U_0(1 + b\alpha)\right] = 61 + 43\left[1 - 0{,}5(1 + 0{,}67 \cdot 0{,}3)\right] = 78 \text{ см},$$

где $U_0 = 0{,}50$ по табл. 12 для $\lambda_{сж\,расч} = 0{,}17$.

Строительная высота насыпи равна

$$h_0 = h + \Delta X = 1{,}6 + 0{,}78 = 2{,}38 \text{ м}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

СООРУЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Процесс возведения земляного полотна на болотах при использовании слабого грунта в качестве несущего основания включает следующие технологические операции:

восстановление и закрепление трассы дороги;

расчистку дорожной полосы;

разбивку земляного полотна;

установку приборов для наблюдений за осадками основания и толщиной отсыпаемой насыпи;

возведение земляного полотна в соответствии с заданным режимом отсыпки насыпи;

проведение контрольных наблюдений в процессе строительства.

Расчистку дорожной полосы от леса и кустарника производят перед началом земляных работ. Поверхность болота после расчистки должна быть ровной. Пни над поверхностью земли не должны возвышаться более чем на 20–30 см.

Для обеспечения максимальной несущей способности основания в естественном состоянии рекомендуется оставлять корневую систему кустарников и деревьев, а также растительный слой.

При разбивке земляного полотна в плане закрепляют ось и подошву насыпи. Ось земляного полотна закрепляют с помощью марок, которые одновременно служат для наблюдений за осадками. Подошву насыпи закрепляют вешками, которые используют для контроля боковых деформаций. Кроме того, на расстоянии равном не менее глубины болота от подошвы насыпи устанавливают колья (высотники) с высотными отметками насыпи – проектной h и строительной h_0.

В зависимости от несущей способности слабого основания и приня-

той конструкции земляного полотна сооружение земляного полотна производят по следующим технологическим схемам:

насыпь отсыпают на полную высоту без ограничения скорости отсыпки с учетом ожидаемой осадки основания с послойным уплотнением грунта земляного полотна (на основаниях I типа по устойчивости);

насыпь отсыпают по специальному режиму (медленная отсыпка) в течение времени t_o, необходимого для уплотнения и упрочнения основания (на основаниях II И IIIA типа по устойчивости).

Временную пригрузку, используемую для ускорения консолидации основания и обеспечения стабильной работы дорожной конструкции в период эксплуатации, устраивают одновременно с отсыпкой насыпи, при обеспеченной устойчивости основания, или по методу предварительной консолидации (постепенного загружения).

Во всех случаях отсыпка грунта в насыпь должна производиться послойно для обеспечения требуемой плотности. Первый (рабочий) слой земляного полотна отсыпают минимально возможной по условиям проезда построечного транспорта толщины. Толщина рабочего слоя должна быть не менее 2,0-2,5 диаметров отпечатка шины расчетного автомобиля и обычно составляет 70-100 см.

Последующие слои отсыпают толщиной 30-50 см и уплотняют до достижения требуемых норм плотности.

Грунт, отсыпаемый выше проектных отметок дна корыта (временная пригрузка, грунт для создания расчетной нагрузки на основание), специального уплотнения не требует.

Отсыпку производят автосамосвалами, скреперами. Разравнивают грунт бульдозером, надвигая его на болото способом "от себя". Уплотнение грунта осуществляют катками на пневматических шинах, виброкатками и решетчатыми катками.

При отсыпке насыпи выполняют постоянный контроль ее высоты и осадки в соответствии с обязательным приложением 3. После того как

осадка достигнет величины, соответствующей требуемой степени консолидации, временную пригрузку или дополнительный слой грунта, эквивалентный массе дорожной одежды, удаляют до отметки дна корыта с недобором грунта в пределах 10 см. Грунт временной пригрузки используют на соседних участках.

После стабилизации осадок до заданной величины приступают к сооружению дорожной одежды, устройству присыпных обочин и выполнению отделочных работ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.
Справочное

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Физические свойства грунтов

γ – плотность грунта (отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему, включая поры);

γ_d – плотность сухого грунта (отношение массы сухого грунта к занимаемому им объему);

γ_s – плотность частиц грунта (отношение массы сухого грунта к объему твердой части этого грунта);

e – коэффициент пористости;

R – степень разложения торфа;

w – влажность.

Геометрические характеристики

B – ширина насыпи;

h – проектная высота насыпи;

h_0 – строительная высота насыпи;

ΔX – толщина слоя насыпи, отсыпаемого сверх проектных отметок;

$h_н$ – толщина насыпи;

H – глубина болота;

$h_т$ – толщина торфа под насыпью;

h_i – толщина однородных слоев болотной залежи;

Δh – толщина временной пригрузки;

$H_{од}$ – толщина дорожной одежды.

Механические характеристики грунтов и дорожно-строительных материалов

τ – сопротивление сдвигу по крыльчатке болотного грунта в природном залегании;

$E_н$ – модуль упругости грунта насыпи;

$E_т$ – модуль упругости торфа;

$E^н_{общ}$ – общий модуль упругости системы насыпь–болотный грунт;

$p_{расч}$ – расчетная нагрузка на основание от массы проектируемой насыпи;

Δp – величина временной пригрузки;

$p_{пр}$ – нагрузка на основание от расчетной нагрузки и временной пригрузки;

d – коэффициент перегрузки;

$S_{общ}$ и $\lambda_{общ}$ – общая абсолютная и относительная осадка основания;

$S_{сж}$ и $\lambda_{сж}$ – осадка абсолютная и относительная сжимающихся слоев болотной залежи;

$S_{от}$ и $\lambda_{от}$ – осадка абсолютная и относительная отдавливаемых слоев болотной залежи;

$S(t)$ – осадка основания в момент времени t ;

$p_{без}$ – безопасная нагрузка на основание;

$K_{без}$ – коэффициент безопасности основания;

ω – частота собственных колебаний системы насыпь–торф;

$a_{факт}$ и $a_{доп}$ – фактические и предельно-допустимые ускорения колебаний земляного полотна и дорожной одежды на торфяном основании.

Консолидационные характеристики основания

T – консолидационный параметр;

$t_в$ – продолжительность строительного периода (продолжительность возведения насыпи);

U – степень консолидации основания;

$U_в$ – степень консолидации основания, соответствующая окончанию строительного периода $t_в$;

$t_{стр}$ – нормативная продолжительность строительства земляного полотна.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 3

Исходные данные для проектирования 6

2. ВИДЫ И СВОЙСТВА БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ 7

3. ВЫДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ УЧАСТКОВ И РАСЧЕТНЫХ СЛОЕВ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ. НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ I2

4. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ I4

5. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА I6

Расчет прочности дорожной одежды I6

Расчет толщины насыпного слоя I8

6. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 22

Определение частот собственных колебаний насыпей на торфяном основании 24

Определение амплитуды колебаний (динамических перемещений) насыпи 26

Мероприятия по снижению ускорений колебаний земляного полотна 29

7. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ . . 29

8. РАСЧЕТ ОСАДКИ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 32

Прогноз конечной величины осадки 32

Прогноз осадки во времени 34

9. УСТАНОВЛЕНИЕ СРОКОВ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ 38

I0. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТАБИЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВО ВРЕМЕНИ 38

Обеспечение стабильности дорожной конструкции 38

Расчет режима возведения насыпи 39

стр.

Расчет временной пригрузки 40

Назначение строительной высоты насыпи 46

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Определение числовых характеристик статистического распределения 47

Приложение 2. Методика определения сжимающих напряжений на глубине залежи 50

Приложение 3. Натурные наблюдения за осадками основания . . 53

Приложение 4. Примеры расчета 56

Приложение 5. Сооружение земляного полотна 73

Приложение 6. Основные буквенные обозначения 76

Расчет порожных насыпей на болотных грунтах РСН 09-85
Госстрой БССР

Ответственный за выпуск: В.Н.Яромко

Подписано к печати 02.12.85 г. Формат 60х84 1/16. Усл.печ.л.4,65.
Уч.-изд.л. 3.30. Тираж 350 экз. Зак.№ 0374. Бесплатно.
ППП БелНИИНТИ. 220004, Минск, пр.Машерова,23.

gost.e-ecolog.ru