

# РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ НА БОЛОТНЫХ ГРУНТАХ

**РСН 09—85**  
Госстрой БССР

Издание официальное

Государственный комитет Белорусской ССР  
по делам строительства

Минск 1985

РЕСПУБЛИКАНСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

---

**РАСЧЕТ ДОРОМНЫХ 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 Белдорний НИИ "Дорстройтехника" Миндорстроя БССР, В.Н.Йромко канд.техн.наук (руководи- тель темы и исполнитель)
ВНЕСЕНЫ	Министерством строительства и эксплуатации автомобильных дорог БССР (Миндорстроем БССР), заместитель министра В.И.Ленисенко
ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ	Отделом планировки и застройки промузлов, промышленного и специализированного строи- тельства Госстроя БССР, Ю.А.Григорьев, отделом стандартов и технических условий Госстроя БССР, М.П.Навлова

С введением в действие республиканских строительных норм "Расчет  
дорожных насыпей на болотных грунтах" РСН 09-85 утрачивают  
Госстрой БССР

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 Расчет дорожных на- сыпей на болотных грунтах	РСН 09-85 Госстрой БССР Взамен РСН 09-76 Госстрой БССР
---	--	--

Настоящие нормы распространяются на проектирование земляного полотна автомобильных дорог III-IV 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 (выторфование, 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

1.1. При расчете дорожных насыпей на болотных грунтах следует соблюдать требования СНиП II.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.

1.2. 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 19 ноября 1985 г. № 55	Срок введения в действие 1 января 1986 г.
--	---	---

Издание официальное

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

1.3. 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.

1.4. 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.

1.5. 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 обоснования варианта трассы перехода через болото) – по данным зондирования и значениям физико-механических характеристик болотных грунтов, определяемых 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 олевого 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.

1.6. 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 попечниках 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  $\text{CaCO}_3$ ) 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<sup>9</sup>

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 сите; содержание минеральных частиц – по массе остатка после прокаливания при температуре  $800 \pm 25^{\circ}\text{C}$ . Основная характеристика состава органо-минеральных грунтов (сапропель, болотный мергель, ил) – соотношение органической и минеральной частей (по массе), дополнительная – содержание карбонатов типа  $\text{CaCO}_3$ , определяемых по количеству углекислого газа  $\text{CO}_2$ , образующегося при действии на грунт 10% раствора соляной кислоты  $\text{HCl}$ .

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	Коэффициент пористости, $W_e$	Плотность сухого грунта, $\gamma_d$ , г/см <sup>3</sup>	Степень разложения, %		Степень волокнистости, $\Phi, \%$	Зольность, %	Сопротивление сдвигу по крынчатке (в природном залегании) $\tau$ , кгс/см <sup>2</sup>	Модуль осадки $\rho$ , мм/м (при нагрузке $P=0,05$ МПа (0,5 кгс/см <sup>2</sup> )
				1	2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Сушеный (или уплотненный)	≤3	≤4	>0,25	≤25	>75	>5 ≤5	>0,040 (0,40) >0,035 (0,35)	150-200	
				25-40	75-60	>5 ≤5	>0,030 (0,30) >0,033 (0,33)		
					>60	>5 ≤5	>0,019 (0,19) >0,026 (0,26)		
Маловлажный	3-6	4-9	0,14-0,25	≤25	>75	>5 ≤5	0,040-0,025 (0,40-0,25) 0,035-0,022 (0,35-0,22)	200-350	
				25-40	75-60	>5 ≤5	0,030-0,017 (0,30-0,17) 0,033-0,016 (0,33-0,16)		
					>75	>5 ≤5	0,019-0,008 (0,19-0,08) 0,026-0,013 (0,26-0,13)		
Средней влажности	6-9	9-14	0,10-0,14	≤25	>75	>5 ≤5	0,026-0,010 (0,26-0,10) 0,022-0,010 (0,22-0,10)	350-450	
				25-40	75-60	>5 ≤5	0,017-0,010 (0,17-0,10) 0,016-0,011 (0,16-0,11)		
					>60	>5 ≤5	0,008-0,005 (0,08-0,05) 0,013-0,008 (0,13-0,08)		

Продолжение таблицы I

Типы грунтов	Природ- ная влаж- ность	Коэффи- циент порис- тости,	Шлот- ность сухого грунта, $yd, \text{г}/\text{см}^3$	Степень разло- жения, $R, \%$	Степень волок- нистос- ти, $\Phi$ , $\%$	Золь- ность, $\chi, \%$	Сопротивление сдвигу		Модуль осадки $\ell_p$ , мм/м (при нагрузке $P=0,05 \text{ МПа}$ $(0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2)$ )
							1	2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Очень влажный	9-12	14-18	0,07-0,10	<25	>75	<5	0,015-0,008(0,15-0,08)	450-550	
				25-40	75-60	>5	0,013-0,006(0,13-0,06)		
						<5	0,01-0,005 (0,10-0,05)		
				>40	>75	>5			
						<5	0,005-0,003(0,05-0,03)		
						>5			
Избыточно влажный	12	18	0,07	<25	>75	<5	<0,005(<0,05)	550-600	
				25-40	75-60	>5	<0,003(<0,03)		
						<5			
				>40	>75	>5	<0,003(<0,03)		
						>5			

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

Таблица 2

Тип залегания	Вид грунта	Разновид- ность	Содер- жание органи- ческих веществ %	Содер- жание богат- ых ве- ществ % ( $\text{CaCO}_3$ )	Природ- ная влаж- ность, W	Коэффи- циент пластичи- стости, e	Сопротивле- ние сдвигу по крыльчат- ке (в при- родном зе- легании)		Модуль осадки $\epsilon_p$ , мм/м (при нагрузке $P=0,05 \text{ Мпа}$ ( $0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$ )
							1	2	
I	Сапропели орга- нические	Детритовые	>60	<30	6-20	I2-I5	<0,002 (<0,02)	900-500	
	Сапропели орга- ническо-минеральные	Известко- вистые	I0-60	>30	2-6	5-I2	0,005-0,002 (0,06-0,02)	400-200	
		Кремнеземи- ческие	I0-60	<30	1,5-6	4-I2	0,005-0,003 (0,05-0,03)	300-200	
	Сапропели орга- нические	Торфоса- пропеллы	>80	<10	9-I2	I6-20	0,013-0,002 (0,13-0,02)	800-500	
		Детритовые	60-80	<30	6-9	I2-I6	0,013-0,002 (0,13-0,02)	700-500	
	Сапропели орга- ническо-минеральные	Известко- вистые	I0-60	>30	1,5-6	4-I2	0,013-0,008 (0,13-0,08)	500-200	
II		Кремнезе- мистые	I0-60	<30	1,2-6	3-I2	0,013-0,007 (0,13-0,07)	400-200	
	Болотный мергель	**	<10	>10	I,2-0,8	3-I,5	0,020-0,008 (0,20-0,08)	200-60	
	Болотный ил	-	<10	<10	I,2-0,3	3,I,I	0,032-0,011 (0,32-0,11)	100-40	

Продолжение таблицы 2

Тип залегания	Вид грунта	Разновид- ность	Содер- жание орга- нических веществ %	Содер- жание карбонат- ных ве- ществ %	Природ- ная влаж- ность, W	Коэффи- циент порис- тости, e	Сопротивле- ние сдвигу по крыльчат- ке (в при- родном зале- гании) τ <sup>2</sup>	Модуль осадки $l_p$ , мм/м (при нагрузке $P=0,05 \text{ МПа}$ $(0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2)$ )		
I	1	2	3	4	5	6	7	8	1	9
Уплотненные в природном залегании (озерно-болотные - под слоем минеральных наносов или под насыпью)	Сапропели органические	Детритовые	>60	<30	1,5-3,0	4-6	0,020-0,008 (0,20-0,08)	250-150		
	Сапропели органические-минеральные	Известковистые	10-60	>30	0,8-2,5	1,2-0,4	0,25-0,010 (2,5-0,10)	200-80		
		Кремнеземистые	10-60	<30	0,5-2,0	1,4-4,0	0,030-0,010 (0,30-0,10)	150-80		

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

### 3. ВЫДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ УЧАСТКОВ И РАСЧЕТНЫХ СЛОЕВ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕГИ. 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. I и 2);

б) геологический слой должен характеризоваться статистической однородностью по выбранному показателю или набору показателей (резкие отсеки (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, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>		
< 3	< 4	> 0,25		15
3 - 6	4 - 9	0,14 - 0,25		12
6 - 9	9 - 14	0,10 - 0,14		7
9 - 12	14 - 18	0,07 - 0,10		5
> 12	> 18	< 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

$$X_{расч} = X_n \pm \Delta X_\alpha , \quad (1)$$

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

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

$\Delta X_\alpha$  - отклонение нормативного значения показателя от его истинного значения (половина ширины доверительного интервала).

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

Здесь  $t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента, определяемый в зависимости от заданной доверительной вероятности – коэффициента надежности – и числа измерений согласно рекомендованному приложению I;

$\bar{U}$  – среднее квадратическое отклонение (см.приложение I);  
 $n$  – число измерений.

Коэффициент надежности  $\alpha$  для дорог III и IV-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 ЗАЛЕКИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ

4.1. 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	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 отсыпке - сжатие	Можно использовать при постепенном загружении
Тип За обязательен. Возможно наличие типов I и 2	ША	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	ШБ	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	Осущененный (уплотненный) или маловлажный	Средней влажности	Очень влажный	Избыточно-влажный и жидкие образования
Сопротивление сдвигу по крыльчатке $\tau$ , МПа ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$> 0,015$ ( $> 0,15$ )	$0,010-0,015$ ( $0,10-0,15$ )	$0,005-0,010$ ( $0,05-0,10$ )	$< 0,005$ ( $< 0,05$ )
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 ПОЛОСТНА

### Расчет прочности дорожной одежды

5.1. 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 ( $P = 0,60 \text{ МПа}$  ( $6 \text{ кгс/см}^2$ );  $D = 33 \text{ см}$ ) 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. 1), 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 ( $\text{кгс/см}^2$ )			переходного типа
		усовершенствованных капитальных	усовершенствованных облегченных	полос	
III	70	165(1650)	130(1300)	-	
IV	-	150(1500)	105(1050)	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-

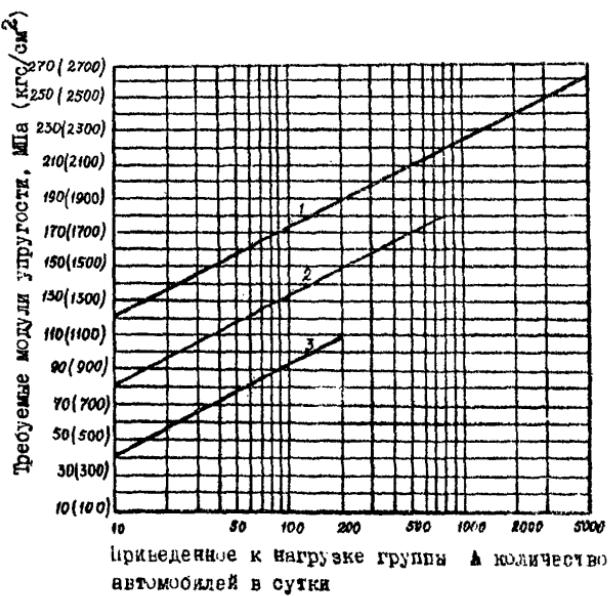


Рис. I. Требуемые модули упругости для дорожных одежд (расчетная нагрузка группы А)

- 1 - для усовершенствованных капитальных покрытий
- 2 - для усовершенствованных облегченных покрытий
- 3 - для переходных покрытий

стилающим грунте и во всех конструктивных слоях дорожной одежды.

Полученный расчетом модуль упругости на поверхности насыпи принимают в качестве требуемого модуля упругости  $E_{\text{общ. треб.}}^h$  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  $E_{\text{общ. треб.}}^h$ , полученному по результатам расчета дорожной одежды.

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

$$E_{\text{общ.}}^h = \frac{E_h \cdot E_t}{E_t \cdot m + 1,3 E_h \cdot K \cdot \eta} , \quad (3)$$

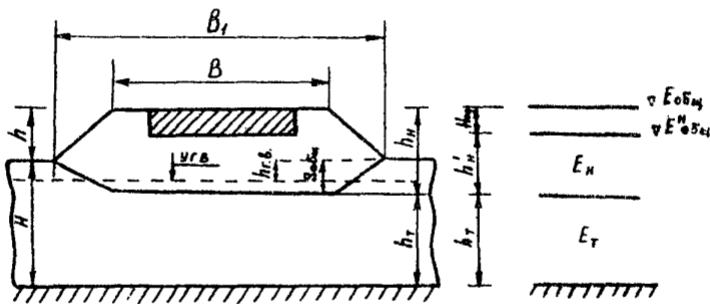
где  $E_h$  – модуль упругости грунта насыпи, принимаемый по данным табл. 7 или на основе результатов испытаний;

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

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

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

а)



б)

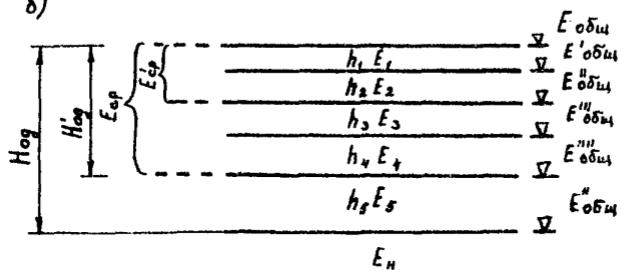


Рис. 2. Расчетная схема

а - системы дорожная одежда-насыпь-болотный грунт  
б - дорожной одежды

$$h'_{\eta} = h + S_{\text{осн}} - H_{\text{од}};$$

- $D$  — диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса расчетного автомобиля;
- $h$  — высота насыпи;
- $S_{\text{осн}}$  — осадка слабого основания;
- $H_{\text{од}}$  — толщина дорожной одежды;
- $K$  — комплексный коэффициент, учитывающий конечные размеры слоя торфа и распределяющую способность насыпи.

Таблица 7

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

Таблица 8

$h'_{\eta} / D$	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

$h'_{\eta} / D$	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  $h'_{\eta} / D$  и  $h'_{\tau} / D$ :

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

Численные значения коэффициента  $\eta$  как функции отношения  $E_{\eta} / E_{\tau}$  для  $h'_{\eta} > 2D$  определяют по графику (рис. 4б).

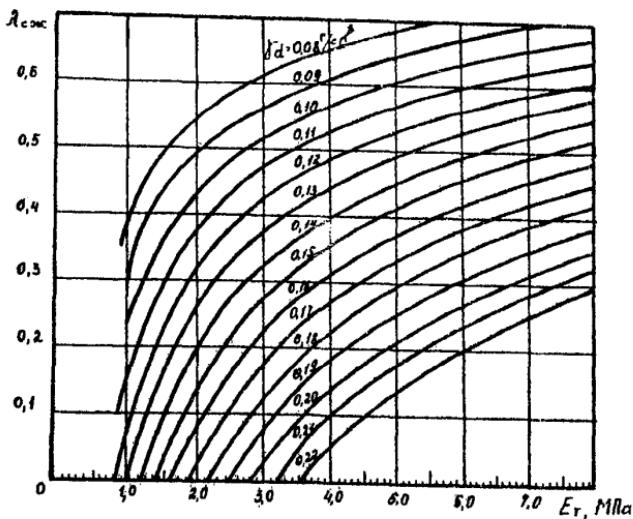


Рис. 3. Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

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, со-блокения 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, облегчен-ных, 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  $S_{ск}$  и  $\lambda_{ск}$  (см.раздел 8) и определяют модуль упругости  $E$ , торфяного основания (см.рис. 3), уплотненного массой насыпи расчетной толщины  $h_n = h + S_{обн}$ . Затем сравнивают значение  $E_{обн}^{''}$ , рассчитанное по фор-муле (3), с  $E_{пред}^{''}$ , требуемым по условиям прочности и жесткости дорожной одежды. Если  $E_{обн}^{''}$  меньше  $E_{пред}^{''}$ , необходимо увеличить тол-щину насыпного слоя и повторить расчет. Расчет толщины насыпи счи-тается законченным, если выполнено условие  $E_{обн}^{''} > E_{пред}^{''}$  с точностью  $\pm 5\%$ .

## 6. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

6.1. Динамический расчет производят только для насыпей, в основ-вании которых залегает торф, если толщина насыпного слоя, рассчи-танного статическим методом, менее 3 м.

6.2. Динамический расчет сводится к удовлетворению следующего условия:

$$a_{факт} \leq a_{доп}. \quad (4)$$

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

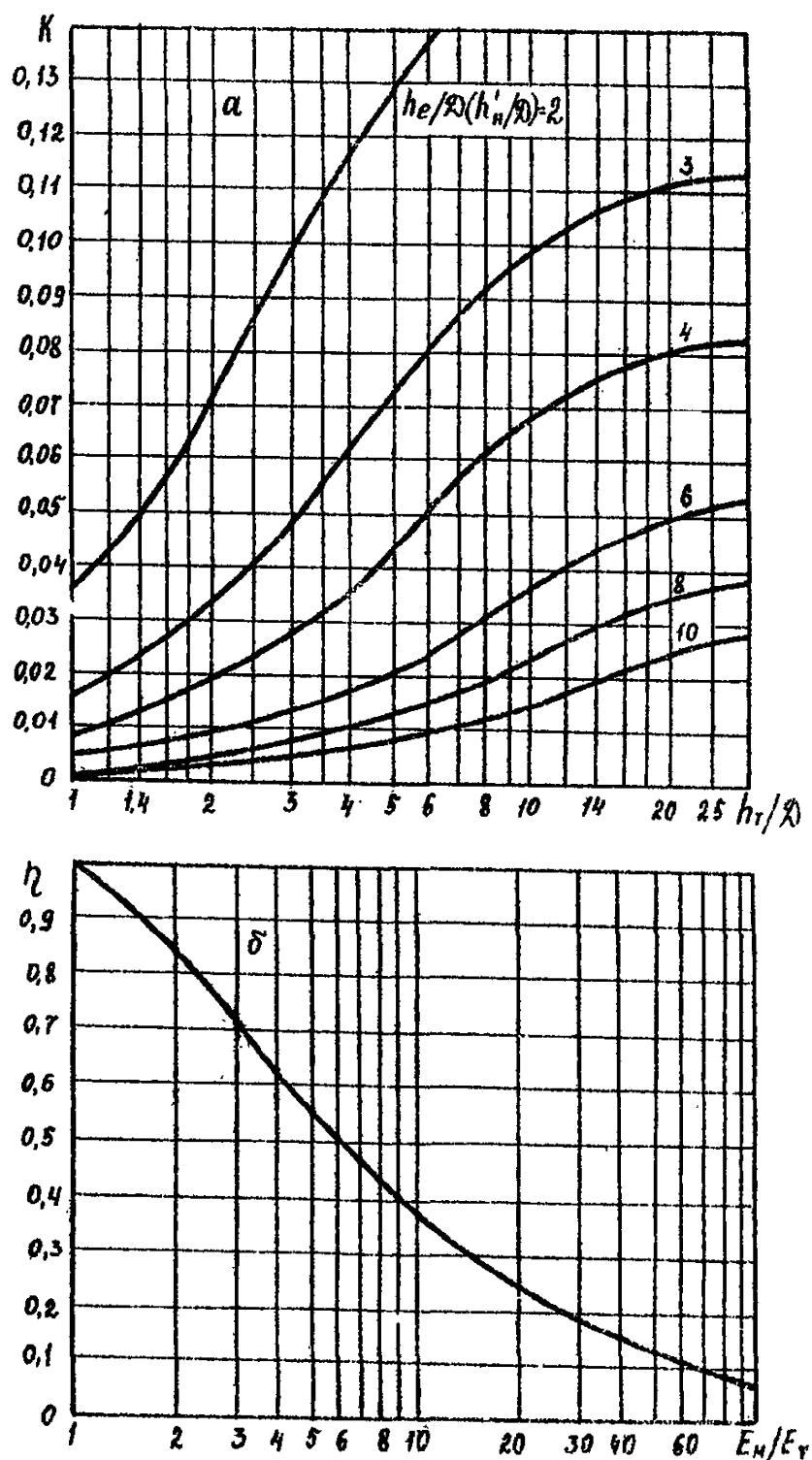


Рис. 4. Графики для определения коэффициентов  $K$  и  $\eta$

$a_{\text{доп}}$  – 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

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

где  $A$  – амплитуда колебаний насыпи;

$\omega$  – 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 случая: 1-й –  $h_n : h_t > 0,5$  и 2-й  $h_n : h_t < 0,5$  для  $h_n < 100$  см.

Частоты собственных колебаний насыпей на торфяном основании для 1-го случая определяют по nomogramme (рис. 6), которая составлена на основе решения задачи о колебаниях насыпи на упругом торфяном основании.

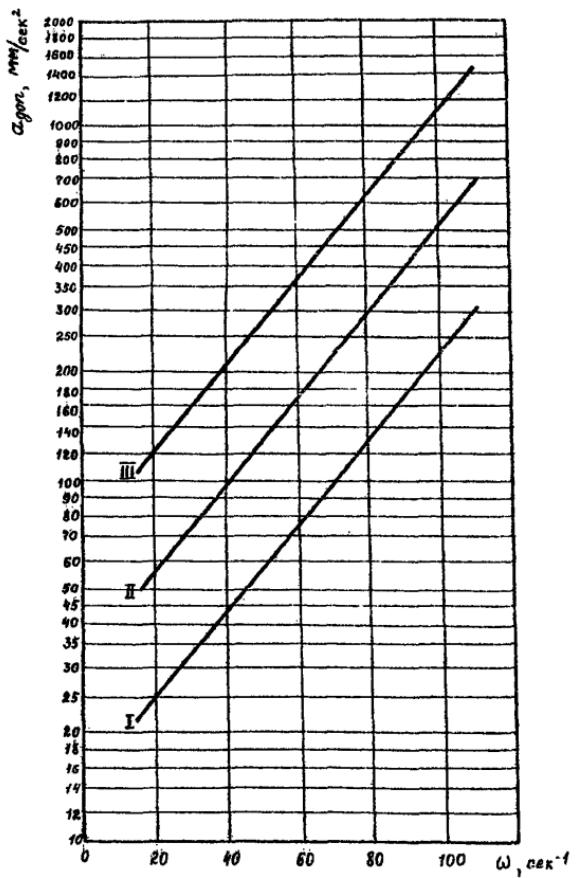


Рис. 5. Предельно допустимые ускорения колебаний земляного полотна для:  
 I - усовершенствованных капитальных покрытий  
 II - усовершенствованных облегченных покрытий  
 III - переходных покрытий

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

$$\omega = \frac{1}{h_r} \sqrt{\frac{E_{np} \cdot g}{f_r \cdot (1 + \frac{K_2}{3K_1})} \cdot \frac{K_2}{K_1}} . \quad (6)$$

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

$$E_{np} = E_r \cdot \frac{(1 - \mu)^2}{1 - 2\mu} , \quad (7)$$

где  $\mu$  - среднее значение коэффициента Пуассона для торфа. При отсутствии данных испытаний допускается принять  $\mu = 0,35$ . В этом случае  $E_{np} = 1,41 E_r$ ;

$$K_1 = \frac{h_n}{h_r} ;$$

$$K_2 = \frac{f_r}{f_n} .$$

Здесь  $h_n$  - общая толщина насыпного слоя;

$h_r$  - толщина слоя торфа под насыпью;

$f_n$  и  $f_r$  - соответственно средние плотности грунта насыпи и торфа.

Общая толщина насыпного слоя (см.рис. 2)

$$h_n = h + S_{обн} = H_{од} + h'_n . \quad (8)$$

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

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

где  $\ell$  - упругий прогиб торфяного основания, вызываемый статической нагрузкой от колеса расчетного автомобиля;

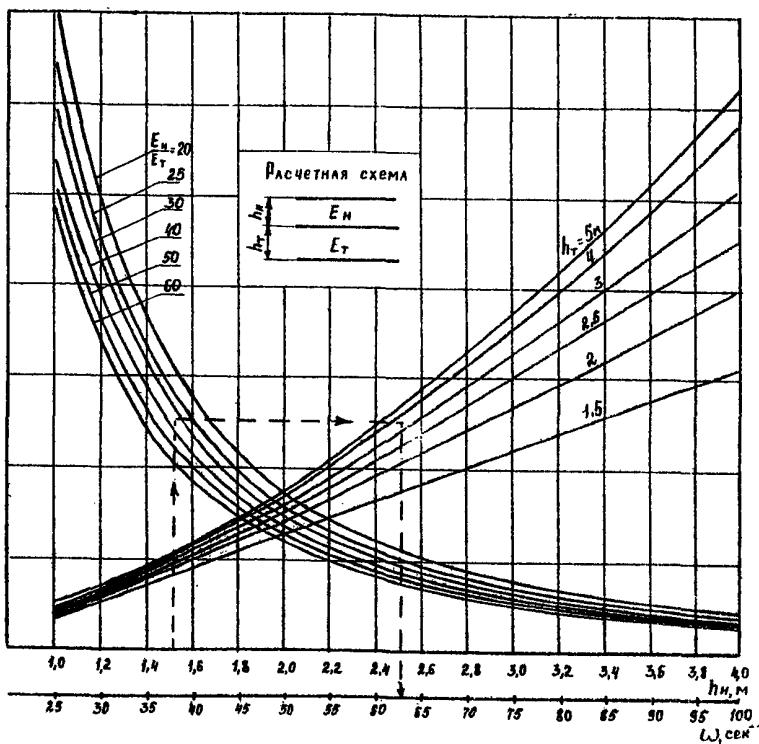


Рис. 6. Номограмма для определения частот собственных колебаний насыпей на торфяном основании  
(I-ый расчетный случай)

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

#### 6.6. Упругий прогиб торфяного основания

$$\ell = \frac{1,3 \cdot P \cdot D}{E_T} \cdot K \cdot \eta, \quad (10)$$

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  $h_e/D$  и  $h_\eta/D$  ( $h_e$  – толщина однородного песчаного слоя, эквивалентного по распределению напряжений многослойной системе дорожная одежда – насыпь).

$$h_e = h + S_{\text{обн}} - H_{\text{об}} + h_{\text{экв}} = h' + h_{\text{экв}}, \quad (II)$$

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

$$h_{\text{экв}} = H'_{\text{об}} \sqrt{\frac{E_{\text{ср}}}{E_h}}. \quad (12)$$

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

$E_h$  – модуль упругости грунта насыпи;

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

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + E_3 h_3 + \dots + E_i h_i}{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_i}. \quad (13)$$

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

6.7. Динамический коэффициент  $K_{\text{дин}}$ , равный отношению максимального динамического прогиба торфяного основания, вызываемого движущимся автомобилем, к величине статического прогиба определяют по графику (рис. 7) в зависимости от коэффициента демпфирования  $\psi$ . Для 1-го расчетного случая он равен  $8,6/\psi$ , для 2-го –  $0,33/E_T$  ( $E_T$  в МПа) или  $3,3/E_T$  ( $E_T$  в кгс/см<sup>2</sup>).

## 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 выторfovывания.

## 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

$$P_{без}^{наг} = N \cdot \tau. \quad (14)$$

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

$\tau$  – сопротивление сдвигу слабого грунта в природном залегании по данным испытаний крыльчаткой.

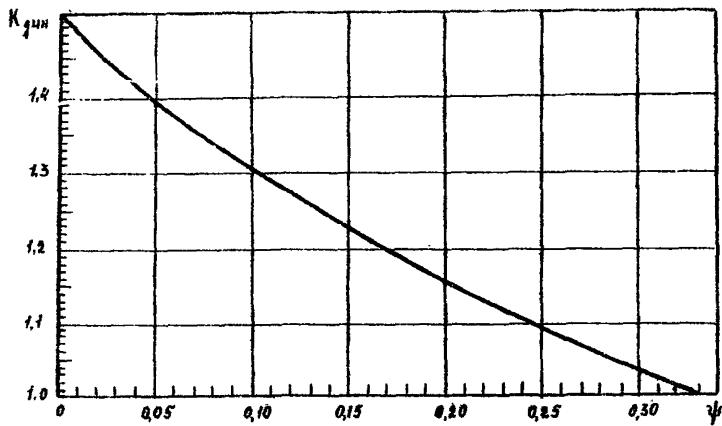


Рис. 7. График для определения динамического коэффициента

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  $K_{без}^{наг}$  определяют тип основания по устойчивости:

$K_{без}^{наг} > I$	- основание I типа
$I > K_{без}^{наг} > 0,7$	- основание II типа
$0,7 > K_{без}^{наг} > 0,2$	- основание IIIА типа
$K_{без}^{наг} < 0,2$	- 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

$$P_{без}^{кон} = \frac{N \cdot \tau}{(1 - u_0 \cdot \lambda_{сж})^3}, \quad (15)$$

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

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

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{сж}} + S_{\text{от}}. \quad (16)$$

где  $S_{\text{общ}}$  - общая осадка насыпи;

$S_{\text{сж}}$  - осадка сжимающихся (уплотняющихся) слоев болотной залежи;

$S_{\text{от}}$  - 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  $S_{\text{от}}$  вычисляют по формуле

$$S_{\text{от}} = \sum_{i=1}^n \lambda_{i \text{ от}} \cdot h_i = \sum_{i=1}^n S_{i \text{ от}}, \quad (17)$$

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

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

$n$  - количество расчетных слоев болотной залежи.

Относительную деформацию  $\lambda_{i \text{ от}}$  определяют по табл. 10 в зависимости от величины сопротивления сдвигу  $T$  по крыльчатке расчетного слоя в природном залегании.

Таблица 10

$\tau$ , МПа	$\lambda_{om}$	$\tau$ , МПа	$\lambda_{om}$	$\tau$ , МПа	$\lambda_{om}$
0,001	I	0,006	0,55	0,011	0,20
0,002	I	0,007	0,45	0,013	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  $S_{cм}$  определяют по формуле

$$S_{cм} = \sum_i \lambda_{i cм} (h_i - S_{i om}), \quad (18)$$

где  $\lambda_{i cм}$  – 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:

$$p_{расч} = K_o \lambda_{cм} + p_o, \quad (19)$$

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

$$\lambda_{cм} = \frac{S_{cм}}{H - S_{om}}. \quad (20)$$

Параметры нагрузки  $K_o$  и  $P_o$  определяют по следующим формулам

$$K_o = \gamma_n^{b_3 \beta} H (1 - \lambda_{om}) \quad (21)$$

$$P_o = \gamma_n^{b_3 \beta} (h + h_{rb}) + \gamma_n^{b_3 \beta} (H \lambda_{om} - h_{rb}), \quad (22)$$

где  $\gamma_n^{b_3 \beta}$  и  $\gamma_n^{b_3 \beta}$  – соответственно плотности грунта насыпи, расположенного выше и ниже уровня грунтовых вод;

$h$  – проектная высота насыпи (рабочая отметка);

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

Если  $h_{rb} > S_{om}$  в формулах (21) и (22) принимают  $\gamma_n^{b_3 \beta} = \gamma_n$ .

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

Nомограмма связывает четыре параметра:  $K_o$ ,  $P_o$ ,  $\lambda_{cm}$  и  $e_o$  ( $e_o$  – средневзвешенное значение коэффициента пористости для болотной залежи) и позволяет путем одного наложения линейки, соединяющей две точки на шкалах  $K_o$  и  $P_o$  в точке пересечения линии с заданным  $e_o$ , найти искомое значение  $\lambda_{cm}$ .

Прогноз осадки во времени

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

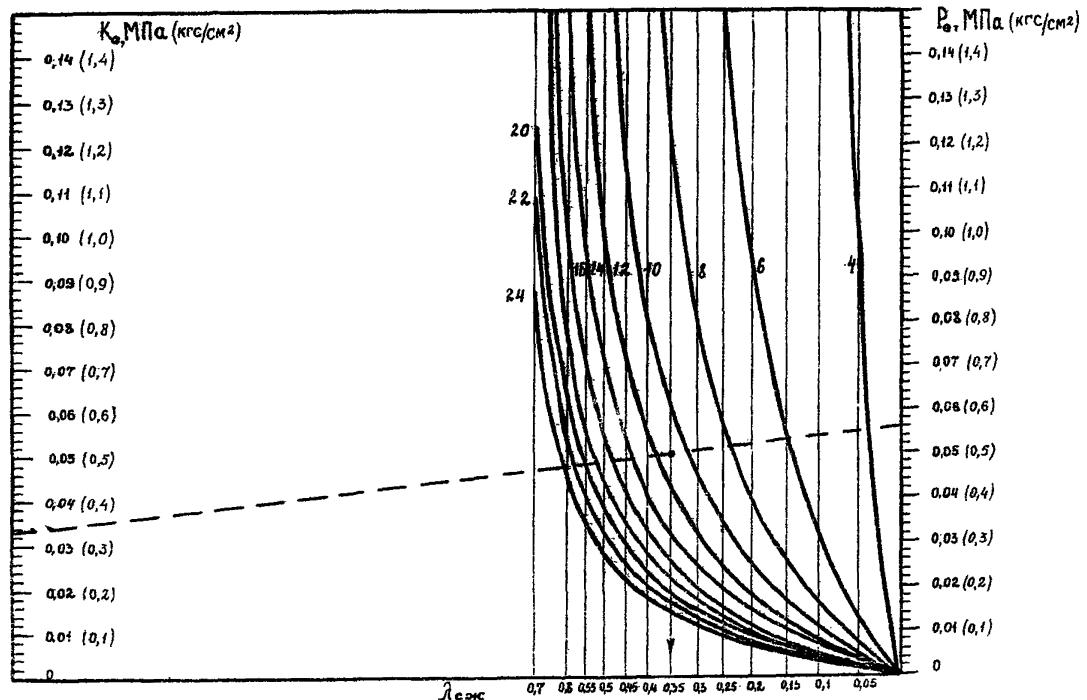


Рис. 8. Номограмма для определения осадки (цифры на кривых – коэффициент пористости торфа  $e_s$ )

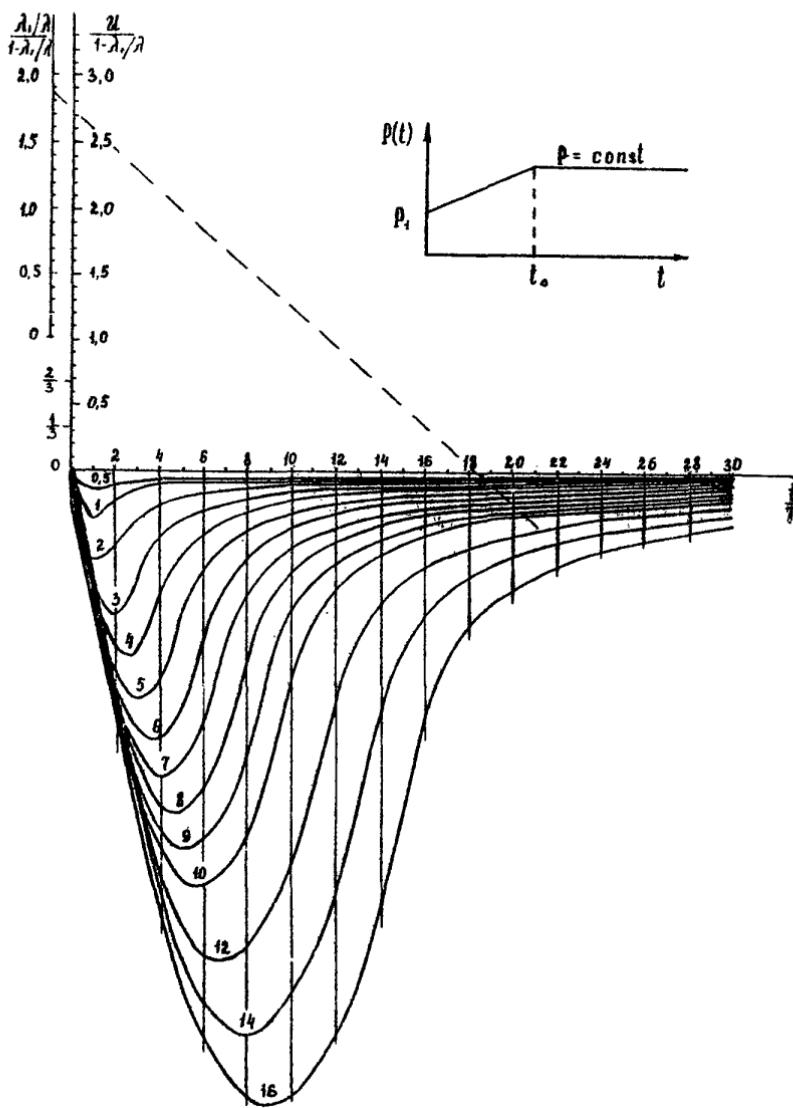


Рис. 9. Номограмма для расчета продолжительности осадки (цифры на кривых – отношение  $\frac{t_0}{\lambda}$ )

Номограмма связывает четыре комплексных параметра:

где  $t_0$  - продолжительность строительного периода;  
 $t$  - время, необходимое для достижения требуемой степени консолидации  $U$  слабой толщи;  
 $\lambda$  - конечная относительная деформация сжатия (уплотнения) основания для нагрузки  $P$ ;  
 $\lambda_{расч}$  - 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

$$T = \frac{2.5 \cdot 10^{-5} \delta_{сж}}{(\lambda_{сж} \cdot p)^2}; \quad (23)$$

б) для оснований II и III A типа по устойчивости

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

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  $P$ ;

$\delta_{сж}$  - осадка скимающихся 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

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

## 9. УСТАНОВЛЕНИЕ СРОКОВ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

9.1. 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, $S_{ск}$ , см	Требуемая степень консолидации $U$ для типа покрытия				
	усовершенствованная капитальная	усовершенствованная облегченная	переходные	нижние	
до 30	0,90	0,86	0,80	0,75	
Св. 30					
до 100	0,95	0,90	0,85	0,80	
Св. 100					
до 170	0,96	0,92	0,87	0,82	
Св. 170	0,98	0,95	0,90	0,85	

## 10. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТАБИЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВО ВРЕМЕНИ

### Обеспечение стабильности дорожной конструкции

10.1. 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;

определен параметры временной пригрузки (схема пригрузки, тол-

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

определенна строительная высота насыпи, учитывающая необходимый запас на осадку.

#### Расчет режима возведения насыпи

10.2. Режим возведения насыпи (тепп 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 определенного расчетом времени  $t_s$  (строительного периода), необходимого для упрочнения слабых грунтов в результате их консолидации.

10.3. Следует соблюдать следующий порядок расчета:

а) назначают толщину насыпи (величину нагрузки  $P_s$ ), которую можно отсыпать сразу (в один прием). Величину нагрузки  $P_s$  принимают равной  $P_s = f_n h_s$ ,

где  $f_n$  — плотность грунта насыпи;

$h_s$  — толщина насыпи, отсыпаемой сразу, которая принимается равной

$$h_s = \frac{P_{\text{рас}}^{\text{нов}}}{f_n} \quad \text{при} \quad \frac{P_{\text{рас}}^{\text{нов}}}{f_n} > S_{\text{от}}$$

$$h_s = S_{\text{от}} \quad \text{при} \quad \frac{P_{\text{рас}}^{\text{нов}}}{f_n} \leq S_{\text{от}}$$

б) устанавливают продолжительность строительного периода  $t_s$ , в течение которого необходимо возведить насыпь до проектной толщины, чтобы основание успело приобрести необходимое упрочнение в процессе консолидации. Для этого определяют параметры  $\lambda_s / \lambda_{\text{расч}}$  и  $1 - \lambda_s / \lambda_{\text{расч}}$ , допускается принимать  $\lambda_s / \lambda_{\text{расч}} = P_s / P_{\text{расч}}$  и  $U_s$  по табл. 12 (где  $U_s$  — степень консолидации основания, достигаемая в течение строительного периода  $t_s$ ).

Таблица 12

$\lambda_{\text{эк}}$	$< 0,05$	$0,05-0,15$	$0,15-0,30$	$0,30-0,40$	$> 0,40$
$U_e$	0,25	0,33	0,5	0,6	0,65

Затем на вертикальных шкалах номограммы (рис. 10) находят точки, отвечающие заданным значениям переменных  $\frac{\lambda_e}{1-\lambda_e/\lambda_{\text{расч}}}$  и  $\frac{U_e}{1-\lambda_e/\lambda_{\text{расч}}}$  и соединяют их линией путем наложения линейки. Точка пересечения этой линии со шкалами  $\frac{t_e}{t_0}$  и  $\frac{t}{t_0}$  при условии  $\frac{t_e}{t_0} = \frac{t}{t_0}$  дает искомое значение  $\frac{t_e}{t_0}$ :

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

$$q = \frac{30(h_n - h_d)}{t_0},$$

где  $h_n$  - проектная толщина насыпи;

г) устанавливают длительность консолидации основания  $t$ , необходимую для достижения заданной степени консолидации  $U$ . Для этого, по известным параметрам  $\frac{\lambda_e}{1-\lambda_e/\lambda_{\text{расч}}}$ ,  $\frac{U}{1-\lambda_e/\lambda_{\text{расч}}}$  и  $\frac{t_e}{t_0}$  по номограмме (см. рис. 9), определяют искомый параметр  $\frac{t}{t_0}$ . При значениях  $\frac{t_e}{t_0}$  и  $\frac{t}{t_0}$ , не превышающих 7, следует пользоваться номограммой, приведенной на рис. 10, которая является деталью номограммы, изображенной на рис. 9.

#### Расчет временной пригрузки

10.4. 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-

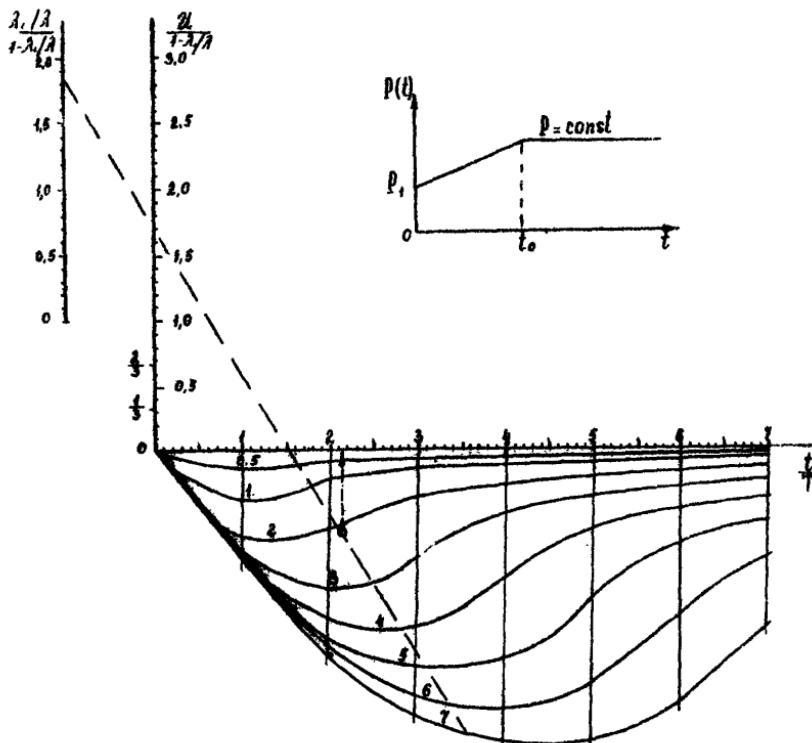


Рис. 10. Номограмма для расчета продолжительности строительного периода (Цифры на кривых – отношение  $\frac{t_1}{t_1+t_2}$ )

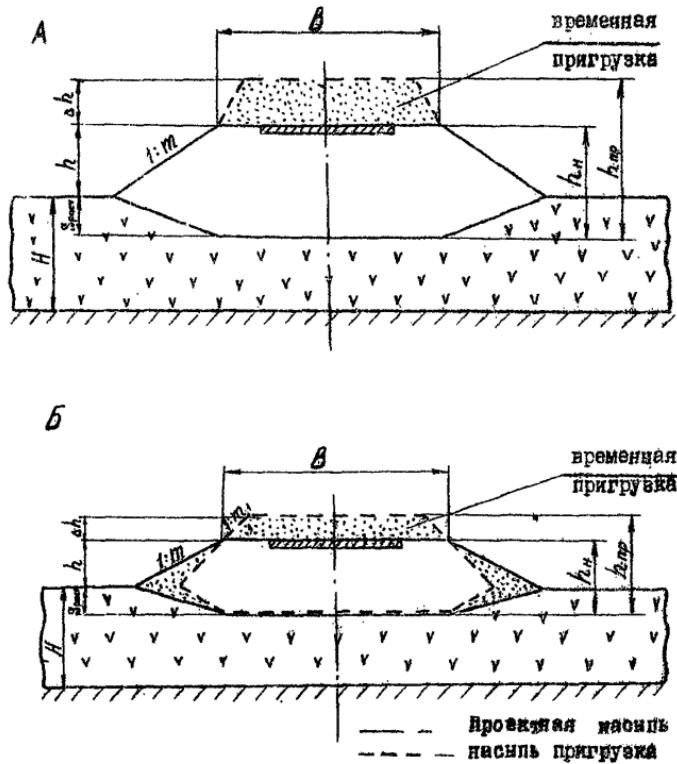


Рис. II. Конструктивные решения земляного полотна с временной пригрузкой

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  $\Delta P$  для схемы А по формуле

$$\Delta P = d \cdot P_{расч}, \quad (26)$$

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

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

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

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:  $m = 1,5-4,0$ ;  $m_1 = 1-2$ .

Коэффициенты перегрузки  $d$ , 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  $T_{np}$  для насыпи с пригрузкой по формулам (23) или (24). При этом параметры  $\lambda$ ,  $P$  и  $S_{con}$

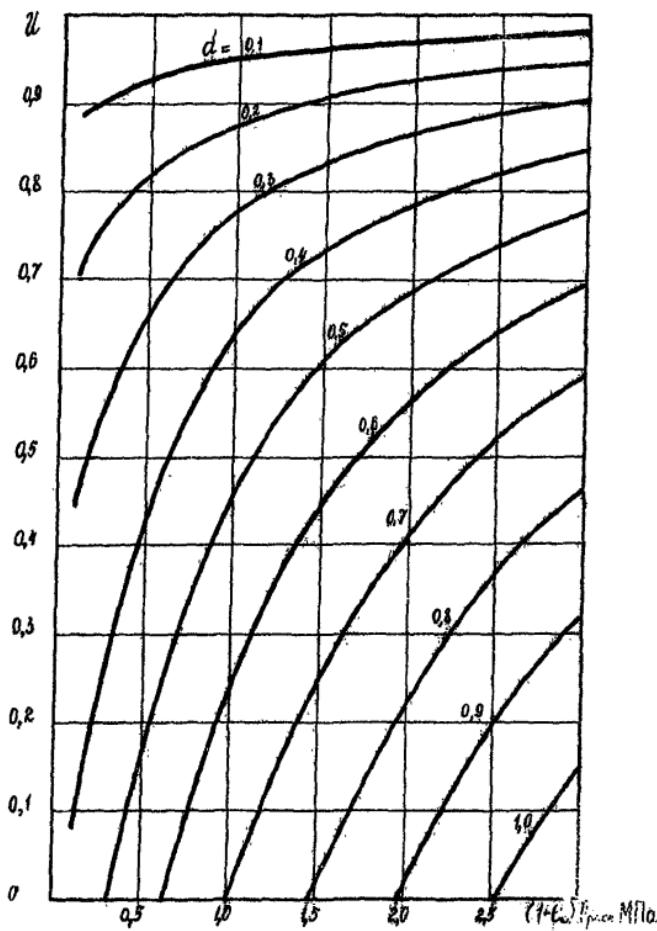


Рис. 12. График для определения минимального коэффициента перегрузки

для насыпи с пригрузкой вычисляют по формулам

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

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

$$P_{пр} = P_{расч} (1 + \alpha d),$$

где  $\beta$  - безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{1}{1 + 1.52(1 + e_o) P_{расч}}, \quad (29)$$

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

$$K_{без\,пр}^{\text{ нач}} = \frac{P_{без\,пр}^{\text{ нач}}}{P_{пр}^{\text{ нач}}}. \quad (30)$$

Если  $K_{без\,пр}^{\text{ нач}} > 1$ , допускается быстрая отсыпка насыпи и временной пригрузки и расчет длительности консолидации производят по формуле:

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

При  $K_{без\,пр}^{\text{ нач}} < 1$ , определяют коэффициент безопасности основания с учетом его упрочнения при медленной отсыпке насыпи:

$$K_{без\,пр}^{\text{ кон}} = \frac{P_{без\,пр}^{\text{ нач}}}{P_{пр}^{\text{ нач}} (1 - U_o \cdot \lambda_{сж\,пр})}. \quad (32)$$

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  $K_{без\,пр}^{\text{ кон}} \geq 1$ , 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 ( $h_u$  - при отсыпке насыпи без пригрузки или  $h_{np}$  - при отсыпке с пригрузкой) насыпь в течение строительного периода необходимо отсыпать выше проектных отметок на высоту  $\Delta X$ . Строительную высоту насыпи  $h_o$  определяют по формуле

$$h_o = h + \Delta X, \quad (33)$$

где  $h$  - проектная высота насыпи (рабочая отметка).

10.6. Толщину слоя насыпи  $\Delta X$ , отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации длительно протекающих осадок консолидации, определяют по формуле

$$\Delta X = \Delta h + S_{сжрасч} [1 - u_o (1 + \beta d)], \quad (35)$$

где  $\Delta h$  - толщина слоя пригрузки;

$S_{сжрасч}$  - осадка за счет сжатия торфа от насыпи проектной толщины;

$u_o$  - степень консолидации, определяемая по табл. I2;

$\beta$  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 рекомендуемом приложении 5.

ПРИЛОЖЕНИЕ I  
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЫХ 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:

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

Дисперсию выборки вычисляют по формуле

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

где  $X_i$  – частные значения измеряемой величины;

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

$n$  – число измерений.

Среднее квадратическое отклонение (или стандарт) отдельного измерения

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

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

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

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

Коэффициент вариации показателя

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

Коэффициент Стьюдента  $t_\alpha$  для разных значений надежности  $P$  в зависимости от числа измерений  $n$  определяют по табл. 2.

Таблица 1

$n$	$d_n$	$n$	$d_n$
2	1,128	12	3,258
3	1,693	13	3,336
4	2,059	14	3,407
5	2,326	15	3,472
6	2,534	16	3,532
7	2,704	17	3,588
8	2,847	18	3,640
9	2,970	19	3,689
10	3,078	20	3,735
11	3,173	25	~ 4,0
		100	~ 5,0

Таблица 2

$n-1$	Доверительные вероятности (коэффициенты надежности)					
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	
$I$	1	2	3	4	5	6
2	1,336	1,886	2,92	4,30	9,92	
3	1,250	1,638	2,35	3,18	5,84	
4	1,190	1,533	2,13	2,77	4,60	
5	1,156	1,476	2,02	2,57	4,03	
6	1,134	1,440	1,943	2,45	3,71	
7	1,119	1,415	1,895	2,36	2,50	
8	1,108	1,397	1,860	2,31	3,36	
9	1,100	1,383	1,833	2,26	3,25	
10	0,093	1,372	1,812	2,23	3,17	
11	1,088	1,363	1,796	2,20	3,11	
12	1,083	1,356	1,782	2,18	3,06	
13	1,079	1,350	1,771	2,16	3,01	

Продолжение табл. 2

	1	2	3	4	5	6
I4	I,076	I,345	I,761	2,14	2,98	
I5	I,074	I,341	I,753	2,13	2,95	
I6	I,071	I,337	I,746	2,12	2,92	
I7	I,069	I,333	I,740	2,11	2,90	
I8	I,067	I,330	I,734	2,10	2,88	
I9	I,066	I,328	I,729	2,09	2,86	
I0	I,064	I,325	I,725	2,09	2,84	
I1	I,063	I,323	I,721	2,08	2,83	
I2	I,061	I,321	I,717	2,07	2,82	
I3	I,060	I,319	I,714	2,07	2,81	
I4	I,059	I,318	I,711	2,06	2,80	
I5	I,058	I,316	I,708	2,06	2,79	
I6	I,058	I,315	I,706	2,06	2,78	
I7	I,057	I,314	I,703	2,05	2,77	
I8	I,056	I,313	I,701	2,05	2,76	
I9	I,055	I,311	I,699	2,04	2,76	
I0	I,055	I,310	I,697	2,04	2,75	
I1	I,050	I,303	I,684	2,02	2,70	
I2	I,046	I,296	I,671	2,00	2,66	
I30	I,041	I,289	I,658	I,98	2,62	
$\infty$	I,036	I,282	I,645	I,96	2,58	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2  
Обязательное

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ  
ПО ГЛУБИНЕ ЗАЛЕГАНИЯ

Сжимающие напряжения  $\rho_i$  для каждого расчетного слоя при трапециoidalной эпоре внешней нагрузки определяют по формуле

$$\rho_i = \mathcal{J} \rho = (\mathcal{J}_a + \mathcal{J}_n) \rho ,$$

где  $\mathcal{J} = f\left(\frac{a}{x}, \frac{b}{x}\right)$  — функция относительных величин  $(\frac{a}{x}, \frac{b}{x})$ ;

$a$  — длина треугольной эпоры нагрузки;

$b$  — длина прямоугольной эпоры нагрузки;

$x$  — глубина рассматриваемой точки;

$\rho$  — интенсивность нагрузки, соответствующая прямоугольной части эпоры.

Величину  $\mathcal{J}$  определяют по графику (рис. 1) как алгебраическую сумму коэффициентов, соответствующих нагрузке слева ( $\mathcal{J}_a$ ) и справа ( $\mathcal{J}_n$ ) от вертикали, проходящей через рассматриваемую точку.

П р и м е р. Определим вертикальное напряжение от насыпи шириной поверху 12 м, высотой 3 м и заложением откоса 1:1,5 для точки, расположенной по оси насыпи на глубине 5 м.

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

$$\frac{a}{x} = \frac{4,5}{5} = 0,9; \quad \frac{b}{x} = \frac{6}{5} = 1,2 .$$

Отсюда  $a = 3 \cdot 1,5 = 4,5$  м.

По графику (см. рис. 1) находим  $\mathcal{J}_a = \mathcal{J}_n = 0,465$ .

Следовательно,

$$\rho_x = (\mathcal{J}_a + \mathcal{J}_n) \rho = 0,93 \rho .$$

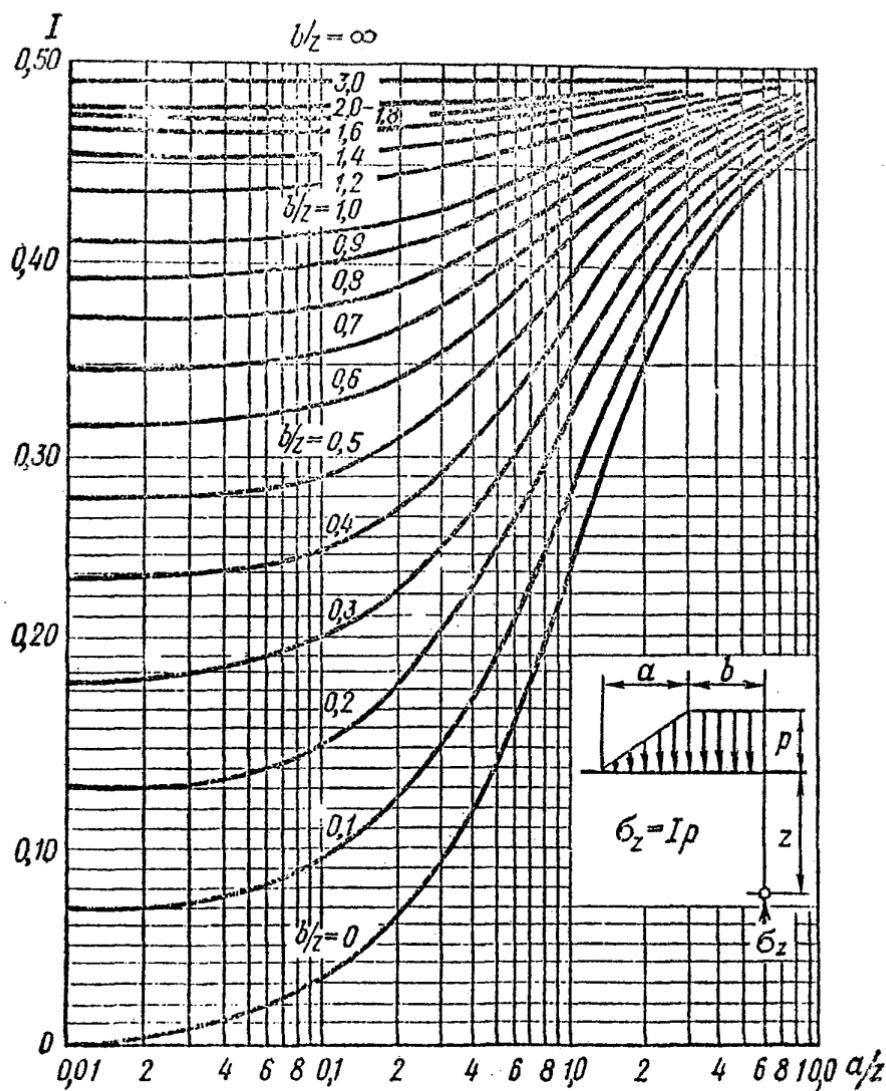


Рис. I. График для определения сжимающих напряжений от нагрузки, меняющейся по закону прямой

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

при нагрузке, действующей слева,

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

$$\frac{b}{x} = \frac{3}{5} = 0,6 ; \quad J_n = 0,435 ;$$

при нагрузке, действующей справа,

$$\frac{a}{x} = \frac{4,5}{5} = 0,9 ; \quad \frac{b}{x} = \frac{9}{5} = 1,8 ; \quad J_n = 0,48 .$$

Следовательно,

$$P_x = (0,435 + 0,48)P = 0,915P.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3  
Обязательное

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ ОСНОВАНИЯ

Осуществление конструктивно-технологических решений земляного пологна 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  $h_n(t)$ , 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  $S_{parc}$  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 400x400 мм и более (в плане), перпендикулярно которой в ее центре приварена труба диаметром 1,5-2,0 дюйма (или стальной пруток диаметром 24-30 мм) длиной 3000 мм. В верхней части трубы закреплена муфта (переходник) для наращивания марки

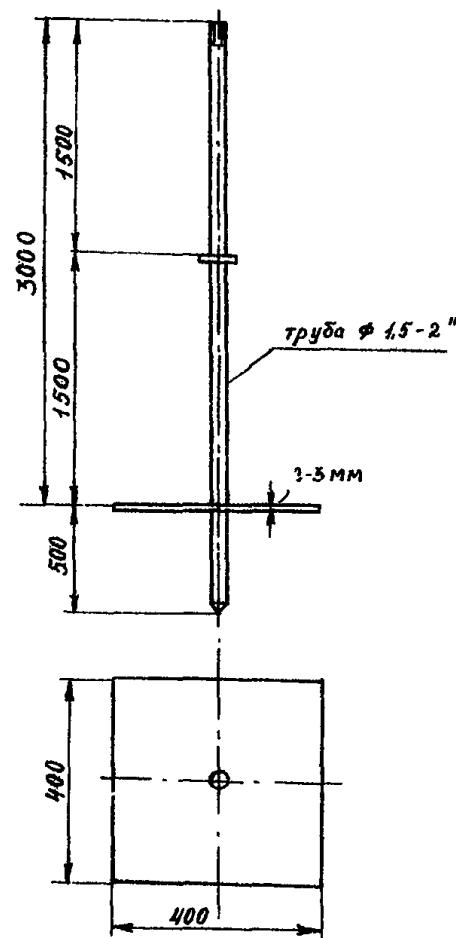


Рис. I. Осадочная марка

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 из 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  $h_n(t)$  и высоты насыпи  $h(t)$  в заданный момент времени  $t$ :

$$S(t) = h_n(t) - h(t).$$

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 № 15 (ПК 24 + 00), $S_{общ} = 80$ см			
	Толщина насыпи	Высота насыпи	Осадка	Степень консолидации $u(t)$
1.II.85	200	185	15	0,25
2.II.85	200	172	28	0,47
3.II.85	200	168	32	0,53
1.II.85	200	140	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. 8.1 настоящих норм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4  
Обязательное

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I

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

Исходные данные. 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  $\gamma_n$  -- 2,0 т/м<sup>3</sup>. Уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью болота. Плотность грунта насыпи во взвешенном состоянии  $\gamma_n^{66}$  -- 1,0 т/м<sup>3</sup>. Продолжительность строительства земляного полотна  $t_{cnp}$  = 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 бересково-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-тигновый с  $R = 10-15\%$ . Мощность болотных грунтов I-3,8 м (рис. Ia).

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.

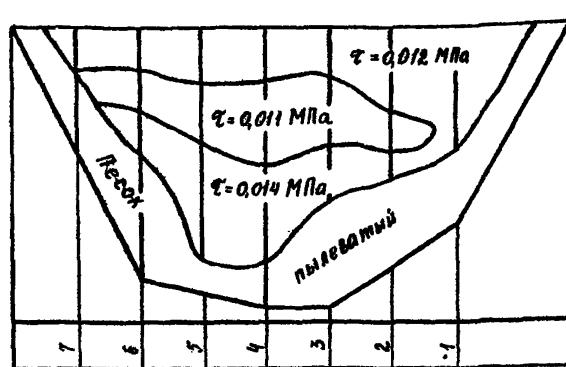
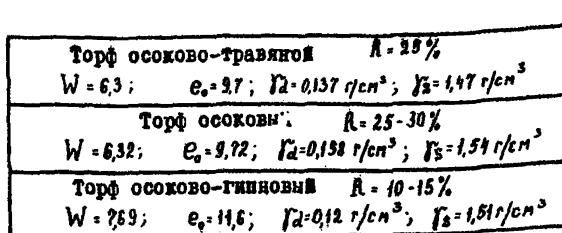
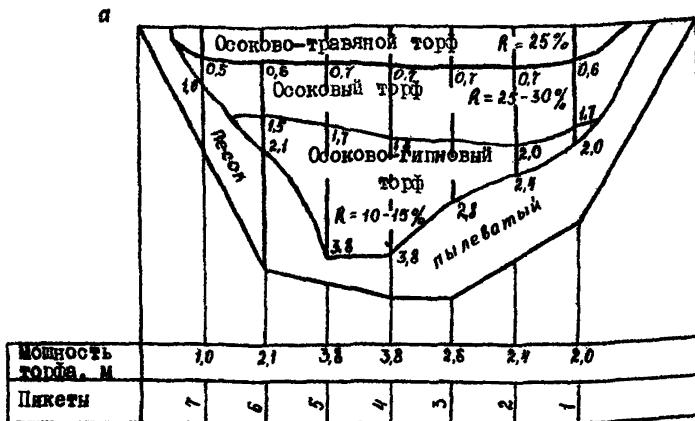


Рис. I. Геотехническая характеристика болотной залежи:  
 а) геологический разрез; б) геотехническая  
 модель для расчета осадок; в) геотехническая  
 модель для расчета устойчивости

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  $H/B_s = 3,5/18 = 0,195 < 0,5$  (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 - 0,011 МПа.

Расчетный попечник (ПК 4) характеризуется следующими показателями:  $H = 380$  см;  $e_o = 10,7$ ;  $f_d' = 0,138$  г/см<sup>3</sup>;  $\tau = 0,011$  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 II 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 - 10 см 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 принят 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	$\frac{h}{D}$	$\frac{E_{общ}}{E_8}$	$\frac{E_n}{E_8}$	Общий модуль упругости дорожной одежды, МПа
$E_{общ} = 220$						
Асфальтобетон (верхний слой)	$E_1 = 1200$	$h_1 = 4$	0,123	0,183	0,16	$E_{общ}' = 192$
Асфальтобетон (нижний слой)	$E_2 = 800$	$h_2 = 5$	0,153	0,24	0,207	$E_{общ}'' = 166$
Черный гравий	$E_3 = 300$	$h_3 = 10$	0,303	0,552	0,465	$E_{общ}''' = 140$
Оптимальная гравийная смесь	$E_4 = 200$	$h_4 = 35$	1,06	0,7	0,392	$E_{общ}^H = 78,4$
Песок мелкий	$E_5 = 80$					

Таким образом, требуемый общий модуль упругости на поверхности насыпи  $E_{общ}^H$  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  $S_{om}$ , происходящей за счет отдавливания слабых слоев производим по формуле (17) с использованием табл. 10. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 2

$h_i$ , м	$c$ , МПа	$\lambda_{i,om}$	$S_{i,om} = \lambda_{i,om} h_i$ , м
0,8	0,012	0,15	0,12
1,2	0,011	0,20	0,24
1,8	0,014	0,05	0,09

$$\sum h_i = H = 3,8 \text{ м}$$

$$S_{om} = \sum S_{i,om} = 0,45 \text{ м}$$

Расчет осадки  $S_{ck}$  производим по nomogramme (см.рис. 8).

Предварительно определяем параметры  $K_o$  и  $P_o$  в уравнении (19), выражающем зависимость нагрузки от осадки насыпи:

$$K_o = 0,01 \left[ \frac{f_{n}^{bsb}}{h} (H - \lambda_{om}) \right] = 0,01/1 \cdot 3,8 (1 - 0,118) / = 0,0335 \text{ МПа},$$

$$\text{где } \lambda_{om} = \frac{S_{om}}{\sum h_{i,om}} = \frac{0,45}{3,8} = 0,118$$

$$P_o = 0,01 \left[ f_n^{bsb} (h + h_{rg}) + f_n^{bsb} (H \cdot \lambda_{om} - h_{rg}) \right] = 0,01 \left[ 2(2,5 + 0) + 1(3,8 \cdot 0,118 - 0) \right] = 0,0545 \text{ МПа}.$$

На nomogramme (см.рис. 8) точки с пометками  $K_o = 0,0335$  и

$P_o = 0,0545$  МПа соединяю прямой. В точке пересечения этой линии с кривой  $c_o = 10,7$  находим  $\lambda_{ck} = 0,35$ .

По формуле (20) находим  $S_{ck}$

$$S_{ck} = \lambda_{ck} (H - S_{om}) = 0,35(3,8 - 0,45) = 1,17 \text{ м}$$

Общая осадка торфяной залежи равна

$$S_{общ} = S_{ck} + S_{om} = 1,17 + 0,45 = 1,62 \text{ м.}$$

Расчетная нагрузка на основание равна

$$P_{расч} = K_o \lambda_{ck} + P_o = 0,0335 \cdot 0,35 + 0,0545 = 0,0662 \text{ МПа.}$$

По графику (см.рис. 3) для  $\lambda_{cr} = 0,35$  и  $f'_a = 0,138 \text{ г/см}^3$  определяют модуль упругости торфа под насыпью  $E_r = 3,2 \text{ МПа}$ . Зная отношение  $\frac{h'_n}{D} = \frac{250 + 162 - 54}{33} = 10,8$ ,

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

$$\frac{E_n}{E_r} = \frac{80}{3,2} = 24,2,$$

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)

$$E_{обн}^n = \frac{E_n \cdot E_r}{E_r m + 1,3 E_n K \eta} = \frac{80 \cdot 3,2}{3,2 \cdot 0,9655 + 1,3 \cdot 80 \cdot 0,009 \cdot 0,22} = 77,7 \text{ МПа.}$$

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 ( $h_n = h + s_{обн} = 250 + 162 = 412 \text{ см}$ ) 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

$$p_{без}^{наг} = N \cdot \tau = 3,9 \cdot 0,011 = 0,0429 \text{ МПа,}$$

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

Определяем коэффициент безопасности:

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

Поскольку  $K_{\text{без}}^{\text{нач}} = 0,65 < 0,7$ , основание IIIА 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  $P_1 = P_{\text{без}}^{\text{нач}} = 0,0429 \text{ МПа}$  и  $h_1 = \frac{P_{\text{без}}^{\text{нач}}}{\gamma_n} = \frac{0,0429}{1,8 \cdot 10^{-2}} = 2,38 \text{ м}$ , поскольку  $h_1 > S_{\text{от}}$  ( $2,38 > 0,45$ ) – 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

$\frac{\lambda_1}{\lambda_{\text{расч}}} = \frac{P_1}{P_{\text{расч}}} = \frac{0,0429}{0,0662} = 0,65$ . Степень консолидации основания, происходящей в течение строительного периода, принимаем по табл. I2 ( $U_0 = 0,60$  для  $\lambda_{\text{сж}} = 0,35$ ).

Зная отношения  $\frac{\lambda_1 / \lambda_{\text{расч}}}{1 - \lambda_1 / \lambda_{\text{расч}}} = \frac{0,65}{1 - 0,65} = 1,86$  и  $\frac{U_0}{1 - \lambda_1 / \lambda_{\text{расч}}} = \frac{0,60}{1 - 0,65} = 1,71$ , на номограмме (см. рис. 9) через эти точки проводим прямую и на сетке шкала  $\frac{t_0}{T}$  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:

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

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

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  $S_{ck} = 117$  см. С помощью nomogramm 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  $\frac{t}{t_0} = 2,15$  находим  $\frac{t}{t_0} = 18,7$ .

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

Время консолидации превышает установленную продолжительность строительства  $t_{cnp}$  ( $580 > 200$  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:

$$\rho_{np} = 0,0662(I + 0,3) = 0,086I \text{ МПа},$$

$$S_{ck np} = 117(I + 0,46 \cdot 0,3) = 133 \text{ см},$$

$$\lambda_{ck np} = 0,35(I + 0,46 \cdot 0,3) = 0,40,$$

где коэффициент  $\beta$  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:

$$K_{без} = \frac{P_{des}^{нac}}{P_{np} (1 - U_0 \cdot \lambda_{ck np})^3} = \frac{0,0429}{0,086I(I - 0,65 \cdot 0,40)^3} = 1,23,$$

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

Поскольку  $K_{\text{ст.} np}^{\text{кои}} = 1,23 > 1,0$ , устойчивость основания при медленной отсыпке насыпи и пригрузки обеспечена.

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

$$T_{np} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot S_{\text{сж.} np}}{\sqrt{\lambda_{\text{сж.} np} \cdot P_{np}}} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 133}{\sqrt{0,40 \cdot 0,0861}} = 29 \text{ сут.}$$

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

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

$$\text{Находим } \frac{\lambda_1}{\lambda_{np}} = \frac{P_1}{P_{np}} = \frac{0,0429}{0,0861} = 0,498; \quad \frac{\lambda_1/\lambda_{np}}{1 - \lambda_1/\lambda_{np}} = \frac{0,498}{1 - 0,498} = 0,99;$$

$$\frac{U_o}{1 - \lambda_1/\lambda_{np}} = \frac{0,65}{1 - 0,498} = 1,29.$$

По nomogramme (см.рис. 10) находим  $\frac{t_o}{T_{np}} = 3,1$ , следовательно,  $t_o = 3,1 \cdot T_{np} = 3,1 \cdot 29 = 90 \text{ сут.}$

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

$$U_{np} = U \frac{S_{\text{сж.} \text{расч}}}{S_{\text{сж.} np}} = \frac{0,96 \cdot 117}{133} = 0,84.$$

Вычисляем вспомогательные параметры:

$$\frac{\lambda_1/\lambda_{np}}{1 - \lambda_1/\lambda_{np}} = 0,99; \quad \frac{U_{np}}{1 - \lambda_1/\lambda_{np}} = \frac{0,84}{1 - 0,498} = 1,67; \quad \frac{t_o}{T_{np}} = 3,1.$$

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

Следовательно,  $t = 6,2 \cdot T_{np} = 6,2 \cdot 29 = 180 \text{ сут.}$

Полученный срок консолидации меньше требуемого ( $180 < 200 \text{ сут.}$ ), поэтому принятая величина временной пригрузки является достаточной.

Определяем толщину слоя временной пригрузки:

$$\Delta h = d \cdot h_n = 0,3 \cdot 412 = 125 \text{ см.}$$

Месячная интенсивность отсыпки насыпи равна

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

При взвешении 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  $\Delta X$ , отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации осадок, определяем по формуле (33)

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

где  $U_o = 0,60$  (по табл. 12) для  $\lambda_{\text{сж росч}} = 0,35$ .

Строительная высота насыпи равна

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

#### Пример 2

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

Исходные данные. Перспективная интенсивность движения 100 автомобилей группы А в сутки на I полосу движения. Мощность торфа в залежи  $H = 250$  см. Расчетное сопротивление сдвигу торфа по крыльчатке  $T = 0,018$  МПа. Средняя плотность сухого торфа в залежи  $\gamma_d = 0,15 \text{ г/см}^3$ . Начальный коэффициент пористости  $\epsilon_o = 8$ . Грунт насыпи - песок мелкий. Средняя плотность грунта насыпи и дорожной одежды  $\gamma_n = 2,0 \text{ т/м}^3$ . Уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью болота. Плотность грунта насыпи во взвешенном состоянии  $\gamma_n^{бв} = 1,0 \text{ т/м}^3$ . Продолжительность строительства земляного полотна  $t_{\text{сп}} = 70$  сут.

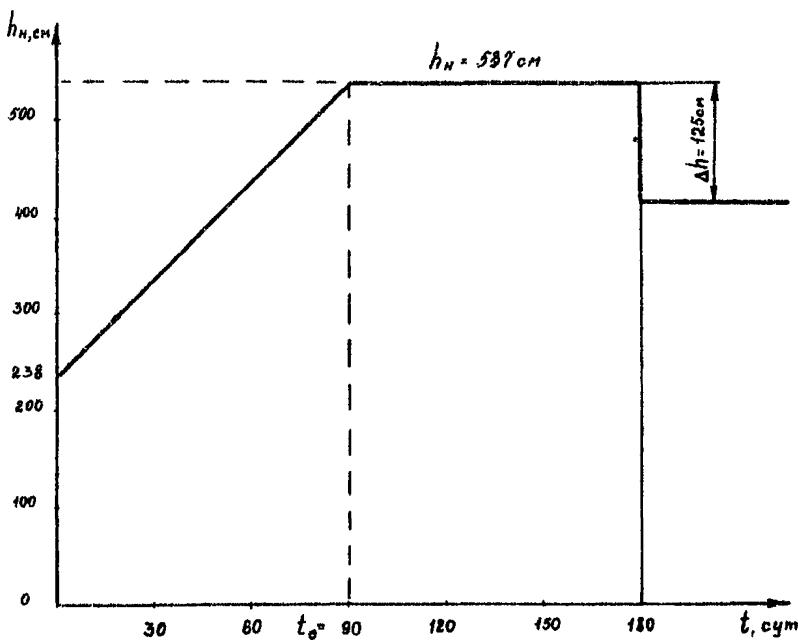


Рис. 2. График возведения насыпи во времени

### Расчет прочности дорожной одежды

Принята конструкция дорожной одежды с покрытием из плотного дегтебетона. По графику (см.рис. 1) требуемый общий модуль упругости дорожной одежды  $E_{общ}^{пред}$  = 131 МПа.

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

Таблица 3

Материал конструктивного слоя	Модуль упругости слоя, МПа	Толщина слоя, см	$\frac{h}{D}$	$\frac{E_{общ}}{E_8}$	$\frac{E''}{E_8} / E_{общ}$ (по нормограмме)	Общий модуль упругости на поверхности слоя, МПа
Плотный среднезернистый дегтебетон	800	5	0,152	0,164	0,136	$E_{общ} = 131$ $E_{общ}^{пред} = 109$
Крупнопористый дегтебетон гравийный	500	8	0,242	0,218	0,16	$E''_{общ} = 80$
Гравийные материалы	200	15	0,455	0,40	0,262	$E''_{общ} = 52$
Песок мелкий		80				

Как видно из таблицы, требуемый модуль упругости на поверхности насыпи  $E''_{общ}^{пред}$  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  $h = 1,2$  м.

Определяем осадку  $S_{осн}$

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

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

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

$$K_0 = 0,01 \left[ \int_H^{h_{rf}} H(1 - \lambda_{om}) \right] = 0,01 \left[ 1 \cdot 2,5(1 - 0) \right] = 0,025 \text{ МПа}$$

$$P_0 = 0,01 \left[ \int_H^{h_{rf}} (h + h_{rf}) + \int_H^{h_{rf}} (H\lambda_{om} - h_{rf}) \right] = 0,01 \left[ 2(1,2 + 0) + 1(2,5 - 0) \right] = 0,024 \text{ МПа.}$$

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

По формуле (20) находим

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

Общая осадка торфяной залежи равна

$$S_{общ} = S_{ck} + S_{om} = 0,35 + 0 = 0,35 \text{ м.}$$

Расчетная нагрузка на основание

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

Модуль упругости торфа, уплотненного весом насыпи,  $E_t$  равен 2,1 МПа (для  $\lambda_{ck} = 0,14$  и  $\int_d' = 0,15 \text{ т/см}^3$  по графику на рис. 3).

Зная отношения  $\frac{h'_H}{D} = \frac{120 + 35 - 28}{33} = 3,85$ ;  $\frac{h_t}{D} = \frac{250 - 35}{33} = 6,5$

и  $\frac{E_H}{E_t} = \frac{80}{2,1} = 38,1$ , 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):

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

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

#### Динамический расчет земляного полотна

Исходные данные  $h_H = 1,2 + 0,35 = 1,55 \text{ м}$ ,  $h_t = 2,5 - 0,35 =$

$= 2,15$  м,  $E_r = 2,1$  МПа.

Определяем частоту собственных колебаний насыпи на торфе

$$\frac{h_n}{h_r} = \frac{1,55}{2,15} = 0,72 \text{ (I-й расчетный случай).}$$

Для известных  $\frac{E_n}{E_r} = \frac{80}{2,1} = 38,1$ ;  $h_n = 1,55$  м и  $h_r = 2,15$  м по nomogramme (см.рис. 6) находим  $\omega = 68 \text{ c}^{-1}$ .

Вычисляем упругий прогиб торфяного основания по формуле (10)

$$\ell = \frac{1,3 p D}{E_r} K \cdot \eta = \frac{1,3 \cdot 198}{2,1} \cdot 0,035 \cdot 0,18 = 0,077 \text{ см} = 0,77 \text{ мм},$$

где  $K = 0,035$  для  $\frac{h_e}{D} = \frac{175}{33} = 5,3$  и  $\frac{h_r}{D} = \frac{215}{33} = 6,5$ ;

$$\eta = 0,18 \text{ для } \frac{E_n}{E_r} = 38,1.$$

$$h_e = 1,55 - 0,28 + 0,28 \sqrt{\frac{393}{80}} = 1,75 \text{ м},$$

где  $E_{ep} = \frac{800 \cdot 5 + 500 \cdot 8 + 200 \cdot 15}{5 + 8 + 15} = 393 \text{ МПа.}$

Коэффициент демпфирования  $\psi = \frac{8,6}{\omega} = \frac{8,6}{68} = 0,126$ ,

$K_{dop} = 1,25$  (см.рис. 7) для  $\psi = 0,126$ .

Амплитуда колебаний насыпи

$$A = 0,77(1,25 - 1,0) = 0,193 \text{ мм.}$$

Ускорение колебаний проектной насыпи

$$a_{\text{проект}} = 0,193 \cdot 68^2 = 892 \text{ мм/с}^2.$$

Предельно допустимое значение ускорений колебаний земляного полотна при  $\omega = 68 \text{ c}^{-1}$  для покрытий облегченного типа по графику (см. рис. 5) равно  $210 \text{ мм/с}^2$ . Так как  $a_{\text{проект}} > a_{\text{доп}}$ , толщина насыпи по условиям динамики недостаточна. Дополнительно проведенные расчеты показывают, что условия динамики обеспечивается при толщине насыпного слоя  $h_n = h + S_{\text{обм}} = 1,6 + 0,43 = 2,03$  м. В этом случае  $K_o = 0,025$  МПа;  $P_o = 0,032$  МПа;  $\lambda_{\text{см}} = 0,17$ ;  $P_{\text{расч}} = 0,025 \cdot 0,17 + 0,032 = 0,036$  МПа;  $S_{\text{см}} = 0,17 \cdot 2,5 = 0,43$  м.

### Расчет устойчивости основания

Безопасная нагрузка на основание

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

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

Определяем коэффициент безопасности:

$$K_{\text{без}}^{\text{наг}} = \frac{P_{\text{без}}^{\text{наг}}}{P_{\text{расч}}} = \frac{0,062}{0,036} = 1,72.$$

$K_{\text{без}}^{\text{наг}} > 1,0$ , 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. II для  $S_{\text{сж}} = 43$  см находим  $U = 0,90$ .

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

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

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

Уменьшить срок консолидации можно с помощью временной притрузки.

Определяем минимальное значение коэффициента перегрузки. Для  $(1 + e_o)$ .

$\cdot \rho_{\text{расч}} = (1 + 8) 0,036 = 0,324 \text{ МПа}$  и  $U = 0,90$  по рис. II находим  $d_{\text{min}} = 0,12$ . Исходя из того, что время консолидации необходимо сократить в  $\frac{228}{70} = 3$  раза, коэффициент перегрузки ориентировочно принимаем равным  $\alpha = 3 \cdot d_{\text{min}} = 0,36$ .

Определяем устойчивость основания при отсыпке насыпи с временной

пригрузкой

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

$$K_{\delta_{33} np}^{\text{нов}} = \frac{0,062}{0,049} = 1,27.$$

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

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

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

где  $S_{cм np} = S_{cм расч} (1 + \delta d) = 43(1 + 0,67 \cdot 0,36) = 53 \text{ см};$

$$\lambda_{cм np} = \lambda_{cм расч} (1 + \delta d) = 0,17(1 + 0,67 \cdot 0,36) = 0,21;$$

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

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

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

Полученное время консолидации  $t_{np} = 47 < t_{cnp} = 70 \text{ сут}$ , следовательно, коэффициент перегрузки можно уменьшить.

Принимаем  $d = 0,3$ , тогда

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

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

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

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

Продолжительность консолидации насыпи с пригрузкой

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

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

ляет уменьшить срок консолидации на  $258 - 63 = 195$  сут.

Толщина пригрузочного слоя

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

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

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

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

Определение строительной высоты насыпи

Толщину слоя насыпи  $\Delta X$ , отсыпаемого сверх проектных отметок для компенсации осадок, определяем по формуле (34):

$$\Delta X = \Delta h + S_{\text{скрпв}} [1 - \psi_b (1 + \beta d)] = 61 + 43 [1 - 0,5 (1 + 0,67 \cdot 0,3)] = 78 \text{ см,}$$

где  $\psi_b = 0,50$  по табл. 12 для  $\lambda_{\text{скрпв}} = 0,17$ .

Строительная высота насыпи равна

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 5  
Рекомендуемое

СООРУЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Процесс возведения земляного полотна на болотах при использованием 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 колы (высотники) с высотными отметками насыпи – проектной  $h$  и строительной  $h_s$ .

В зависимости от несущей способности слабого основания и принят-

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  $t$ , необходимого для уплотнения и упрочнения основания (на основаниях II и III 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 построенного 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 достигает 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 ЕДИНИЦЫ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Физические свойства грунтов

- $\gamma$  - плотность грунта (отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему, включая поры);
- $\gamma_d$  - плотность сухого грунта (отношение массы сухого грунта к занимаемому им объему);
- $\gamma_s$  - 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;
- $h_o$  - строительная высота насыпи;
- $\Delta x$  - толщина слоя насыпи, отсыпаемого сверх проектных отметок;
- $h_n$  - толщина насыпи;
- $H$  - глубина болота;
- $h_t$  - толщина торфа под насыпью;
- $h_i$  - толщина однородных слоев болотной залежи;
- $\Delta h$  - толщина временной пригрузки;
- $H_{od}$  - толщина дорожной одежды.

Механические характеристики грунтов и дорожно-строительных материалов

- $\tau$  - сопротивление сдвигу по крыльчатке болотного грунта в природном залегании;
- $E_n$  - модуль упругости грунта насыпи;

- $E_t$  – модуль упругости торфа;  
 $E_{общ}^H$  – общий модуль упругости системы насыпь–болотный грунт;  
 $P_{расч}$  – расчетная нагрузка на основание от массы проектируемой насыпи;  
 $\Delta P$  – 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;  
 $\omega$  – 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;  
 $t_o$  – продолжительность строительного периода (продолжительность возведения насыпи);  
 $U$  – степень консолидации основания;  
 $U_o$  – степень консолидации основания, соответствующая окончанию строительного периода  $t_o$ ;  
 $t_{cnp}$  – нормативная продолжительность строительства земляного полотна.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>стр.</i>
1. 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 . . . . .	12
4. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ . . . . .	14
5. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА . . . . .	16
Расчет прочности дорожной одежды . . . . .	16
Расчет толщины насыпного слоя . . . . .	18
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
10. МЕРСИПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТАБИЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВО ВРЕМЯНИ . . . . .	38
Обеспечение стабильности дорожной конструкции . . . . .	38
Расчет режима возведения насыпи . . . . .	39

	стр.
Расчет временной пригрузки . . . . .	40
Назначение строительной высоты насыпи . . . . .	46
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
Приложение 1. Определение числовых характеристик статистического распределения . . . . .	47
Приложение 2. Методика определения скимающих 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 дорожных насыпей на болотных грунтах

РСН 09-85

Госстрой БССР

Ответственный за выпуск: В.Н.Яромко

Подписано к печати 02.12.85 г. Формат 60x84 1/16. Усл.печ.л.4,65.  
Уч.-изд.л. 3,30. Тираж 350 экз. Зак. № 0376. Бесплатно.  
ИПП БелНИИТИ. 220004, Минск, пр. Машерова, 23.