

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

# ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию  
для студентов специальности  
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»  
дневной и заочной форм обучения*

**Часть 2**



Могилев 2022

УДК 625.73  
ББК 39.311-06  
И 39

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «10» марта 2022 г.,  
протокол № 8

Составители: ст. преподаватель А. М. Сергеева;  
ст. преподаватель О. И. Бродова

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Данилов

Методические рекомендации к курсовому проектированию предназначены для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

## ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### Часть 2

Ответственный за выпуск	А. М. Брановицкий
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать 25.05.2022. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,06. Тираж 56 экз. Заказ № 486.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2022

## Содержание

Введение.....	4
1 Общие положения .....	6
2 Определение числа накопленных осей за расчетный срок службы .....	7
3 Определение расчетного значения влажности грунта и расчетных характеристик грунтов.....	10
4 Конструирование дорожной одежды облегченного типа .....	14
5 Расчет нежестких дорожных одежд на прочность .....	15
5.1 Критерий расчета на прочность.....	15
5.2 Расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу.....	16
5.3 Расчет на сдвигоустойчивость грунтов земляного полотна и неукрепленных материалов конструктивных слоев дорожных одежд.....	23
5.4 Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению при растяжении при изгибе.....	31
6 Определение расходов воды на малых водосборах.....	35
7 Определение минимальной высоты насыпи у трубы.....	41
8 Проектирование конструкции водопропускной трубы.....	42
9 Укрепление русел и откосов насыпей у труб.....	44
Список литературы .....	48

## Введение

Во время изучения дисциплины «Изыскание и проектирование автомобильных дорог» выполняется курсовое проектирование.

Цель данной учебной дисциплины – формирование инженера-строителя по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», способного проектировать современную автомобильную дорогу с закономерностью движения автомобилей по дороге; проектирование плана трассы дороги; проектирование поперечного и продольного профиля; пересечения и примыкания дорог; проектирование транспортных развязок; обстановка и принадлежности дороги; конструирование дорожных одежд и земляного полотна; выбор конструкционных материалов; расчет дорожных одежд на действие погодных-климатических факторов и транспортной нагрузки; оптимизация конструкции; конструирование и расчет дорожных одежд при реконструкции и усилении, обеспечивающих удобное, экономическое и безопасное движение автомобильного транспорта с расчетной скоростью и нагрузкой в течение расчетного периода.

Цель курсового проектирования – закрепление студентами теоретических знаний, приобретение практических навыков по разработке основных технических решений при проектировании автомобильных дорог.

При выполнении курсового проектирования необходимо произвести работу по конструированию конструкций дорожной одежды и ее расчет по критериям:

- по упругому прогибу;
- по сдвигу в малосвязных материалах дорожной одежды;
- на изгиб в монолитных слоях дорожной одежды, а также расчет дренажных слоев дорожной одежды.

Во второй части курсового проектирования необходимо найти водосбор, а также рассчитать расход от ливневых и талых вод, выбрать диаметр трубы и найти объемы работ по типовому проекту 501-0-46, разработанному ЛЕНГИПО-ТРАНСМОСТОМ.

Можно рекомендовать следующее содержание курсового проектирования при объеме 25–30 страниц рукописного текста.

- 1 Введение.
- 2 Определение числа накопленных осей за расчетный срок службы.
- 3 Определение расчетного значения влажности грунта и расчетных характеристик грунтов.
- 4 Конструирование дорожной одежды облегченного типа.
- 5 Расчёт нежестких дорожных одежд на прочность.
  - 5.1 Критерии расчета на прочность.
  - 5.2 Расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу.
  - 5.3 Расчет на сдвигустойчивость грунтов земляного полотна и неукрепленных материалов конструктивных слоев дорожных одежд.
  - 5.4 Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению при растяжении при изгибе.
- 6 Определение расходов воды на малых водосборах.
- 7 Определение минимальной высоты насыпи у труб.

8 Проектирование конструкции водопропускной трубы.

9 Укрепление русел и откосов насыпей у труб.

Расчетно-пояснительная записка должна отражать последовательность работы при решении поставленной задачи и содержать все необходимые расчеты и обоснования. Её оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95 *Общие требования к текстовым документам*. В пояснительной записке приводят таблицы, графики и рисунки, необходимые для выполнения расчетов. Нумерация таблиц, формул и иллюстраций должна быть сквозной в пределах каждого раздела и состоять из двух цифр, первая из которых обозначает номер раздела, вторая – порядковый номер соответственно таблицы, графика или рисунка в пределах данного раздела.

Графическая часть включает в себя следующее.

1 Конструкция дорожной одежды на листе формата А2.

2 Труба железобетонная с укреплением на листе формата А2–А1.

## 1 Общие положения

Дорожная одежда представляет собой конструкцию проезжей части, которая включает в себя несколько слоев из различных материалов. В ней различают покрытие, основание и дополнительные слои основания. Дорожные одежды по механическим свойствам разделяют на жесткие (с цементобетонными покрытиями и основаниями) и нежесткие (все остальные). В зависимости от типа покрытия, материала и способа его укладки различают следующие типы дорожных одежд: капитальные, облегченные, переходные и низшие. Области применения дорожных одежд приведены в [1].

Расчет дорожных одежд на прочность выполняют по трем группам расчетных нагрузок:

- 1) группа  $A_1$  – при нормативной статической нагрузке на одиночную ось расчетного автомобиля 100 кН (10 тс на одиночную ось);
- 2) группа  $A_2$  – при нормативной статической нагрузке на одиночную ось расчетного автомобиля 115 кН (11,5 тс на одиночную ось);
- 3) группа  $A_3$  – при нормативной статической нагрузке на одиночную ось расчетного автомобиля 130 кН (13 тс на одиночную ось).

Расчет дорожной одежды на прочность осуществляется по следующим критериям:

- по допускаемому упругому прогибу;
- по сдвигу в подстилающем грунте и малосвязных материалах слоев;
- по расчету монолитных слоев на растяжение при изгибе.

Дорожные одежды переходного типа рассчитывают только по двум критериям: упругому прогибу и сдвигу в грунте.

При расчете грунта земляного полотна и слоев из неукрепленных материалов на сопротивление сдвигу модуль упругости асфальтобетонных слоев покрытия принимают при температуре 20 °С. При расчете асфальтобетонного покрытия на сопротивление усталостным разрушениям при растяжении при изгибе его характеристики принимают при температуре 0 °С. При расчете устойчивости асфальтобетонных покрытий к пластическим деформациям расчетную температуру принимают 50 °С.

Дорожные одежды рассчитывают с учетом критериев надежности. Для основных случаев проектирования допустимый (необходимый) коэффициент надежности  $K_n$  определяют как минимальное значение коэффициента прочности  $K_{np}^{mp}$  в конце срока службы дорожной одежды в зависимости от категории дороги, типа дорожной одежды и принятой группы нагрузок в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 1.1 – Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок  $A_1$  и  $A_2$

Дорожная одежда капитального типа		Значение коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения групп нагрузок $A_1$ и $A_2$									
		I		II		III			IV		
Заданный коэффициент надежности $K_n$		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$ по критерию	упругого прогиба	1,25	1,15	1,20	1,10	1,20	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90

## 2 Определение числа накопленных осей за расчетный срок службы

В качестве расчетной схемы нагружения конструкции дорожной одежды колесом автомобиля принимают нагружение гибким круглым штампом диаметром  $D$ , передающим равномерно распределенную нагрузку от удельного давления воздуха в шине  $p$ .

При проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля. Значения параметров  $p$  и  $D$  для групп расчетных нагрузок приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на покрытие от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$ , кН	Расчетные параметры нагрузки	
		$p$ , МПа	$D$ , м
$A_1$	50,0	0,60	$\frac{0,37}{0,33}$
$A_2$	57,5		$\frac{0,39}{0,37}$
$A_3$	65,0		$\frac{0,41}{0,39}$

*Примечание* – В числителе приведены значения для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного. Данные о нагрузках, передаваемых на дорожное покрытие серийно выпускаемыми автотранспортными средствами, принимают по специальным справочникам

В зависимости от вида расчета дорожной одежды используют различные характеристики интенсивности воздействия на нее транспортной нагрузки:

1)  $N_p$  – приведенную интенсивность движения на первый год расчетного срока службы (общую среднесуточную интенсивность движения, приведенную к эквивалентной интенсивности воздействия расчетной нагрузки на одну полосу проезжей части в сутки, ед./сут);

2)  $\sum N_p$  – число накопленных осей за расчетный срок службы, приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции.

Число накопленных осей за расчетный срок службы  $\sum N_p$ , ед., приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции, определяют по формуле

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \cdot K_c \cdot T_{pдг} \cdot K_n, \quad (2.1)$$

где  $N_p$  – приведенная интенсивность движения на первый год расчетного срока службы, ед./сут;

$K_c$  – коэффициент суммирования, определяемый по таблице 2.2 или по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1}, \quad (2.2)$$

$T_{сл}$  – расчетный срок службы дорожной одежды, принимаемый по таблице 2.3;

$q$  – показатель изменения интенсивности движения по годам;

$T_{pдг}$  – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции дорожной одежды, принимаемое по таблице 2.4;

$K_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаемый по таблице 2.5.

Таблица 2.2 – Значение коэффициента суммирования

Показатель изменения интенсивности движения по годам $q$	Значение $K_c$ при сроке службы дорожной одежды $T_{сл}$ , лет			
	8	10	15	19
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8

Окончание таблицы 2.2

Показатель изменения интенсивности движения по годам $q$	Значение $K_c$ при сроке службы дорожной одежды $T_{сл}$ , лет			
	8	10	15	19
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

Таблица 2.3 – Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

Категория автомобильной дороги	Тип дорожной одежды	Коэффициент надежности $K_H$						
		0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
		Срок службы $T_{сл}$ , лет						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I-а-I-в	Капитальный	19	14	—	—	—	—	—
II	Капитальный	17	13	—	—	—	—	—
III	Капитальный	15	12	11	—	—	—	—
	Облегченный	—	11	10	—	—	—	—
IV	Капитальный	12	10	9	8	—	—	—
	Облегченный	—	—	8	7	6	—	—
	Переходный	—	—	—	6	5	4	—
V	Облегченный	—	—	—	—	6	5	4
	Переходный	—	—	—	—	5	4	3
	Низший	—	—	—	—	—	4	3
VI-а, VI-б	Облегченный*	—	—	—	—	6	5	4
	Переходный	—	—	—	—	5	4	3
	Низший	—	—	—	—	—	3	2

*Примечание* – \* – при соответствующем технико-экономическом обосновании

Таблица 2.4 – Значение  $T_{рдг}$  в зависимости от расположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{рдг}$ при расчете на прочность дорожной одежды, сут
1 Северный, влажный	125
2 Центральный	130
3 Южный, неустойчиво-влажный	135

Таблица 2.5 – Значение коэффициента  $K_n$ , учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента $K_n$ при категориях дорог				
	I-a-I-в	II	III	IV	V, VI-a, VI-б
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	–	1,32	1,26	1,06
Переходный, низший	–	–	–	1,16	1,04

### 3 Определение расчетного значения влажности грунта и расчетных характеристик грунтов

Расчетную влажность грунта следует устанавливать вероятностным методом ввиду временной (по сезонам и годам) изменчивости влажности грунта земляного полотна и необходимости рассчитывать дорожную конструкцию на прочность с заданным уровнем проектной надежности.

Под расчетной влажностью  $W_p$  грунта в этом случае подразумевают значение средней влажности грунта в пределах активной зоны земляного полотна, наблюдающееся в наиболее неблагоприятный период года, хотя бы в одном году за срок между капитальными ремонтами дорожной одежды.

Расчетное значение влажности грунта  $W_p$ , %, определяют по формуле

$$W_p = W_{маб} (1 + 0,1t), \quad (3.1)$$

где  $W_{маб}$  – среднее многолетнее значение относительной (доли от границы текучести) влажности грунта в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна в зависимости от дорожно-климатического района, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта (таблица 3.1);

$t$  – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по таблице 3.2 в зависимости от требуемого коэффициента надежности.

В зависимости от расчетного значения влажности грунта  $W_p$  определяют основные параметры механических свойств грунта земляного полотна (модуль упругости  $E_{зр}$ , угол внутреннего трения  $\varphi_{зр}$  и удельное сцепление  $C_{зр}$ ), которыми пользуются в расчетах дорожных одежд на прочность.

Таблица 3.1 – Среднее значение влажности грунта  $W_{маб}$

Дорожно-кли- матический район	Схема увлаж- нения рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности грунта $W_{таб}$ в долях от $W_T$			
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий	Супесь пылеватая и суглинок пылеватый
1	1	0,63	0,65	0,68	0,73
	2	0,66	0,68	0,71	0,76
	3	0,68	0,70	0,73	0,78
2	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75
3	1	0,65	0,67	0,70	0,75
	2	0,68	0,70	0,73	0,78
	3	0,70	0,72	0,75	0,80

Таблица 3.2 – Коэффициент нормированного отклонения  $t$ 

$K_n$	0,85	0,90	0,95	0,98
$t$	1,06	1,32	1,71	2,19

Расчетные значения характеристик грунтов в зависимости от влажности  $W_p$  представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Расчетные значения характеристик грунтов

Вид грунта	Число пластичности $J_p$ , %	Содержание песчаных зерен (2...0,5 мм), % по массе	Показатель	Расчетное значение характеристик грунта в зависимости от влажности $W_p$ , %								
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
<i>Песок</i>												
Крупный (в том числе ПГС по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) до 30 %)			$E_y$ , МПа	130,0								
			$\phi$ , град	35								
			$C$ , МПа	0,004								
Средней крупности			$E_y$ , МПа	120,0								
			$\phi$ , град	32								
			$C$ , МПа	0,004								
Мелкий			$E_y$ , МПа	100,0								
			$\phi$ , град	31								
			$C$ , МПа	0,003								
Однородный			$E_y$ , МПа	75,0								
			$\phi$ , град	31								
			$C$ , МПа	0,003								
Пылеватый			$E_y$ , МПа	96,0	90,0	84,0	78,0	72,0	60,0	60,0	54,0	48,0
			$\phi$ , град	38	38	37	37	36	35	34	33	32
			$C$ , МПа	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009

Окончание таблицы 3.3

Вид грунта	Число пласти-ности $J_p$ , %	Содержание пес-чаных зерен (2...0,5 мм), % по массе	Показа-тель	Расчетное значение характеристик грунта в зависимости от влажности $W_p$ , %										
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90		
<i>Сугесь</i>														
Крупная легкая	1...7	Более 50	$E_s$ , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0		
			$\varphi$ , град	32	30	29	28	27	26	25	23	22		
			$C$ , МПа	0,022	0,016	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005			
Пылеватая	1...7	Более 50	$E_s$ , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0		
			$\varphi$ , град	32	30	29	28	27	26	25	23	22		
			$C$ , МПа	0,022	0,020	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005			
<i>Суглинок</i>														
Легкий непывлеватый	7...12	Более 40	$E_s$ , МПа	108,0	100,0	77,0	64,0	52,0	42,0	34,0	27,0	23,0		
			$\varphi$ , град	27	25	23	21	19	18	16	13	11		
			$C$ , МПа	0,035	0,026	0,024	0,018	0,014	0,011	0,009	0,006	0,004		
Легкий пылеватый	7...12	Менее 40	$E_s$ , МПа	108,0	100,0	77,0	64,0	52,0	42,0	34,0	27,0	23,0		
			$\varphi$ , град	28	25	24	22	20	18	16	14	11		
			$C$ , МПа	0,040	0,030	0,030	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,005		
Тяжелый непывлеватый	12...17	Более 40	$E_s$ , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0		
			$\varphi$ , град	25	22	20	18	15	13	10	7			
			$C$ , МПа	0,050	0,035	0,030	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007		
Тяжелый пылеватый	12...17	Менее 40	$E_s$ , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0		
			$\varphi$ , град	25	22	20	18	15	13	10	7			
			$C$ , МПа	0,050	0,035	0,030	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007		

## 4 Конструирование дорожной одежды облегченного типа

Процесс конструирования дорожной одежды включает:

- обоснование типа дорожной одежды;
- выбор вида покрытия;
- назначение числа конструктивных слоев с выбором материалов для их устройства, размещение слоев в конструкции дорожной одежды и назначение их ориентировочных толщин;
- предварительную оценку необходимости назначения дополнительных мерозащитных мер с учетом условий дорожно-климатического района, типа грунта и схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна на различных участках;
- предварительную оценку необходимости назначения мер по осушению конструкции, а также по повышению ее трещиностойкости;
- оценку целесообразности укрепления или улучшения верхней части рабочего слоя земляного полотна.

При конструировании дорожной одежды необходимо руководствоваться следующими принципами:

а) тип дорожной одежды и вид покрытия, конструкция одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге соответствующей категории, и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения с учетом изменения интенсивности движения в течение заданных межремонтных сроков и предполагаемых условий ремонта и содержания;

б) конструкция дорожной одежды должна быть разработана индивидуально для каждого характерного участка или ряда характерных участков дороги (при выборе конструкции дорожной одежды для данных условий предпочтение следует отдавать конструкции, проверенной на практике в данных условиях на аналогичных объектах) или может быть принята типовой на основании действующих дорожных методических документов;

в) в районах, недостаточно обеспеченных минеральными материалами, удовлетворяющими требованиям ТНПА, допускается применять местные материалы (в том числе доломитовый щебень), побочные продукты промышленности и грунты при условии обработки их вяжущими материалами;

г) конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации и индустриализации дорожно-строительных работ, для достижения этой цели число слоев, их толщина и количество материалов различного вида в конструкции должны быть минимальными;

д) при конструировании необходимо учитывать реальные условия выполнения дорожно-строительных работ (летняя или зимняя технология и т. п.).

При назначении видов покрытия для разных вариантов конструкций дорожных одежд следует руководствоваться СН 3.03.04–2019 и действующими ТНПА на дорожно-строительные материалы и изделия.

Основание дорожной одежды из зернистых материалов для групп нагрузок  $A_1$  и  $A_2$  должно быть, как правило, двухслойным: несущий слой из жестких и сдвигоустойчивых материалов (щебня, гравия, щебеночно-песчано-гравийных смесей, шлаковых смесей, а также грунтов, укрепленных неорганическим или органическим вяжущим), и дополнительный слой необходимой прочности и сдвигоустойчивости, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

Основание дорожной одежды, предназначенной для движения для группы нагрузки  $A_3$ , должно быть трехслойным: два верхних несущих слоя из асфальтобетона и материала, укрепленного органическим или минеральным вяжущим, и дополнительный слой необходимой прочности и сдвигоустойчивости, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

В несущих слоях оснований дорожных одежд под группу нагрузок  $A_3$  и  $A_2$  при интенсивности более 375 000 накопленных осей за расчетный срок службы не допускается использование материалов, не укрепленных вяжущими с модулем упругости слоя  $E$  менее 250 МПа.

С целью обеспечения нормальных условий работы краевых полос дорожной одежды основание проектируют на 0,50 м шире, чем проезжая часть и укрепленные полосы, а дренирующий слой, при его наличии, проектируют на всю ширину земляного полотна.

Толщину каждого конкретного слоя предварительно назначают равной минимальной конструкционной толщине, регламентированной в соответствии с действующими нормами или равной практически принимаемым значениям (например, из альбома типовых конструкций) для данного района.

## **5 Расчет нежестких дорожных одежд на прочность**

### **5.1 Критерий расчета на прочность**

В соответствии с принципами расчета по предельным состояниям дорожные одежды облегченного типа рассчитывают с учетом следующих критериев:

- сопротивления упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивления сдвигу в грунтах и неукрепленных;
- сопротивления слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении при изгибе.

Последовательность расчета дорожных одежд по критериям предельного состояния должна быть следующей:

- выполняют расчет дорожной одежды на сопротивление упругому прогибу на основании зависимости требуемого модуля упругости конструкции от расчетной интенсивности движения; назначают толщины конструктивных слоев и их модули упругости так, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не менее требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности;
- выполняют расчет полученной конструкции дорожной одежды по двум независимым критериям прочности: сопротивлению сдвигу в грунте и слоях малосвязанных материалов и прочности слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении при изгибе.

Минимальную толщину конструктивных слоев дорожных одежд принимают по таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Минимальная толщина конструктивных слоев дорожной одежды

Вид материала	Минимальная толщина слоя, м
Щебеночно-гравийные материалы, обработанные органическим вяжущим	0,08
Щебень, устроенный по способу пропитки	0,10
Укрепленные грунты и малопрочные материалы, асфальтогранулят	0,12
Неукрепленные материалы, устроенные на прочном основании (на каменистом или укрепленном грунте)	0,15
Неукрепленные материалы, устроенные на песчаном основании	0,17
Неукрепленный песчаный грунт	0,50

Толщина конструктивных асфальтобетонных слоев покрытий и оснований (кроме защитных и выравнивающих слоев) должна быть не менее значений, приведенных в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Толщина асфальтобетонных конструктивных слоев покрытий и оснований (кроме защитных и выравнивающих слоев)

Тип смеси, асфальтобетона и максимальный размер зерен заполнителя	Толщина конструктивного слоя, мм
С10	30...40
С15, А15, Б15	40...60
С20, А20, Б20	50...80
Пористая 20 – только для марки I	
В20	30...60
Г, Д	30...50
Высокопористая песчаная	
Пористая 20, высокопористая 20	40...80
А30, Б30	50...90
Пористая 30, высокопористая 30	
А40, Б40	70...120
Пористая 40, высокопористая 40	

## 5.2 Расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу

Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по критерию упругого прогиба при условии

$$K_{np}^{mp} \leq E_{общ} / E_{тр}, \quad (5.1)$$

где  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого коэффициента надежности по таблице 1.1;

$E_{общ}$  – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{mp}$  – требуемый модуль упругости дорожной конструкции с учетом категории дороги, типа дорожной одежды и интенсивности воздействия группы нагрузок, МПа.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции  $E_{mp}$ , МПа, при  $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$  вычисляют по формуле

$$E_{mp} = 98,65 \cdot \left[ \lg(\Sigma N_p) - c \right], \quad (5.2)$$

где  $\Sigma N_p$  – число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды, определяемое по формуле (2.1);

$c$  – коэффициент, равный: для группы нагрузок  $A_1$  – 3,55; для группы нагрузок  $A_2$  – 3,23; для группы нагрузок  $A_3$  – 3,05.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции  $E_{mp}$ , МПа, при  $\Sigma N_p < 4 \cdot 10^4$  определяют по таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Требуемый модуль упругости дорожной одежды  $E_{mp}$

Категория автомобильной дороги	Требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{mp}$ , МПа				
	капитального типа при группе нагрузок			облегченного типа	переходного и низшего типа
	$A_1$	$A_2$	$A_3$		
I-a – I-в	230	270	310	–	–
II	220	250	280	–	–
III	200	230	260	180	–
IV	180	200	220	150	110
V	–	–	–	130	100
VI-a, VI-б	–	–	–	110*	80
Примечание – * – при соответствующем технико-экономическом обосновании					

Общий расчетный модуль упругости конструкции дорожной одежды  $E_{общ}$ , МПа, определяют по номограмме, изображенной на рисунке 5.1.

Расчетные значения модулей упругости грунтов и дорожно-строительных материалов принимают согласно таблицам 5.4–5.9. Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре 10 °С.

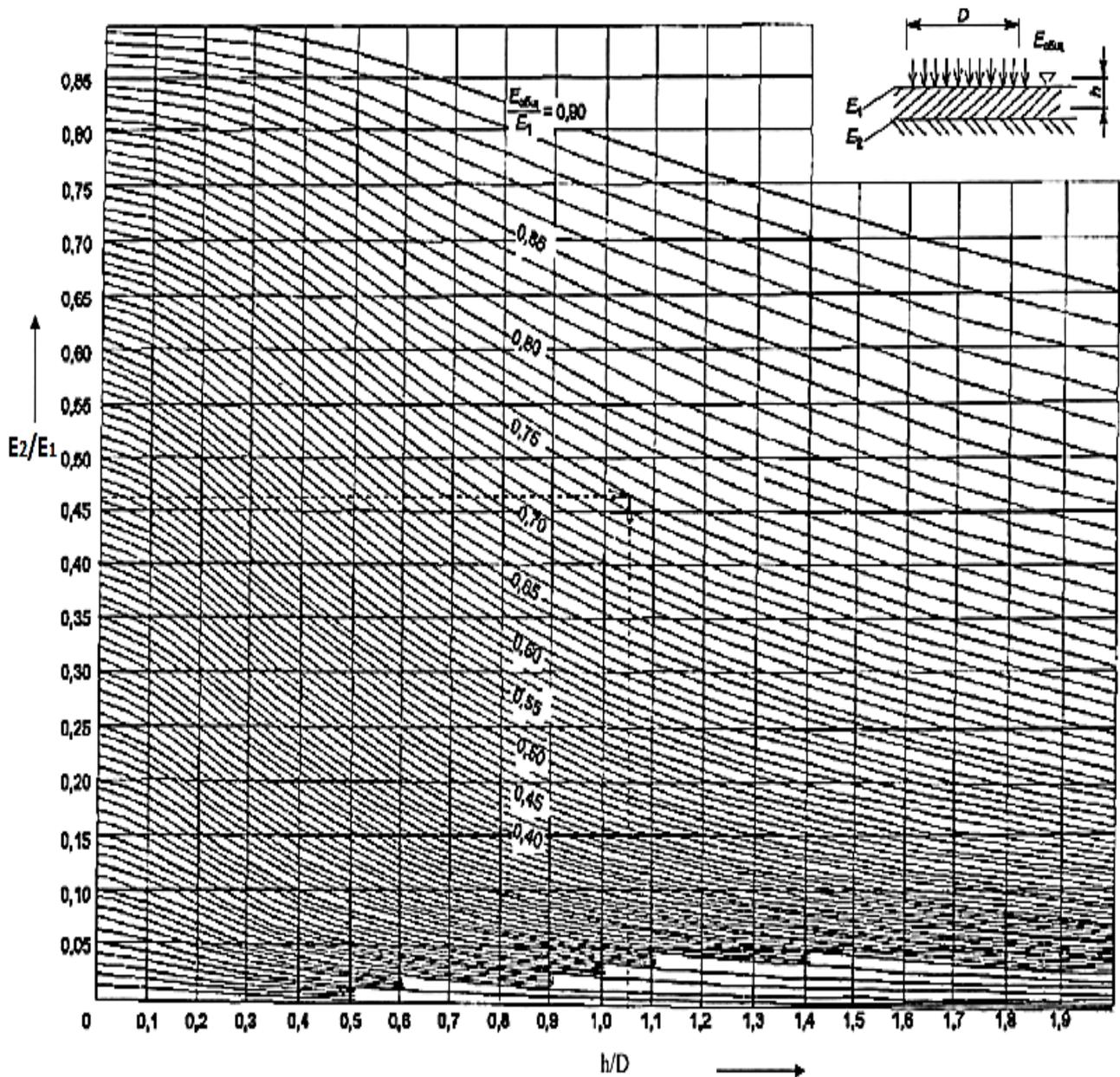


Рисунок 5.1 – Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы  $E_{общ}$

Расчет на сопротивление упругому прогибу (по требуемому модулю упругости) производят в следующей последовательности:

- 1) определяют значение коэффициента прочности  $K_{np}^{mp}$ ;
- 2) по числу накопленных осей за расчетный срок службы на одну полосу с учетом типа дорожной одежды назначают требуемый модуль упругости дорожной одежды  $E_{mp}$ , МПа, и сравнивают со значениями таблицы 5.3;
- 3) предварительно назначают толщину верхних слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее;
- 4) модуль упругости грунта активной зоны земляного полотна и материалов слоев назначают согласно таблицам 3.3 и 5.4–5.9, после чего по номограмме

(см. рисунок 5.1), выполняя расчет снизу вверх с последовательным определением модулей упругости на поверхности конструктивных слоев дорожной одежды.

Таблица 5.4 – Характеристики асфальтобетонов и эмульсионно-минеральных смесей при расчете на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Вид материала	Расчетное значение модуля упругости $E_y$ , МПа	$m$	$\alpha$	Прочность на растяжение при изгибе $R_u$ , МПа
Плотный, на битуме, модифицированном терморезактивными полимерами	6100	7,0	3,0	14,0
Плотный, на резинобитумном вяжущем	5800	6,9	3,2	13,8
Плотный, на битуме, модифицированном полимерами типа СБС	5500	6,9	3,3	13,0
Щебеночно-мастичный, на битуме БНД/БН марки:	60/90	5,5	5,1	11,0
	90/130	4800	5,0	10,5
Плотный, на битуме БНД/БН марки:	60/90	4500	5,5	9,8
	90/130	3600	5,0	9,5
	130/200	2600	4,5	9,3
Пористый, на битуме БНД марки:	60/90	2800	4,3	8,0
	90/130	2200	4,0	7,8
	130/200	1800	3,8	7,6
	200/300	1400	3,7	7,1
Высокопористый, на битуме БНД марки:	60/90	2100	4,0	5,8
	90/130	1700	3,8	5,5
Холодные асфальтобетоны				
Тип $B_x$	2600	3,0	8,0	4,9
Тип $B_x$	2200	2,5	9,8	4,6
Тип $G_x$	1800	2,0	13,2	4,2
Тип $D_x$	1500	2,0	13,2	3,9
Эмульсионно-минеральные смеси по [3]				
–	2000	3,8	8,8	6,5
<p><i>Примечание</i> – Характеристики плотных асфальтобетонов даны для типа <math>A</math>. Для типов <math>B</math> и <math>D</math> значения <math>E_y</math> и <math>R_u</math> уменьшают в 1,15 раза. Для асфальтобетонов типов <math>B</math> и <math>G</math> значения <math>E_y</math> и <math>R_u</math> увеличивают в 1,15 и 1,2 раза соответственно</p>				

Таблица 5.5 – Значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов и эмульсионно-минеральных смесей при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости $E_y$ , МПа, при температуре покрытия, °С		
		10	20	50
Щебеночно-мастичный асфальтобетон	Вязкий БНД/БН:			
	60/90 90/130	3700 2700	2100 1400	530 460
Плотный асфальтобетон	Модифицированный	4000	2350	660
	Вязкий БНД/БН:			
	60/90	3200	1800	460
	90/130	2400	1200	420
	130/200	1500	800	380
	200/300	1200	600	360
Жидкий:	БГ 70/130	1000	420	350
	СГ 130/200	1000	420	350
	СГ 70/130	800	360	350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкий БНД/БН:			
	60/90	2000	1200	360
	90/130	1400	800	350
	130/200	1100	600	340
200/300	950	450	330	
Холодные асфальтобетоны:	–			
	тип $B_x$	1300	–	–
	тип $B_x$	1100	–	–
	тип $G_x$	900	–	–
тип $D_x$	750	–	–	
Эмульсионно-минеральные смеси по [3]	–	1800	1000	340
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Модули упругости плотного асфальтобетона на модифицированном битуме даны для случая его модификации термоэластопластичными полимерами типа СБС. В случае применения резинобитумных вяжущих значение <math>E_y</math> уменьшают в 1,05 раза. Для терморезистивных полимеров значение <math>E_y</math> уменьшают в 1,2 раза.</p> <p>2 Модули упругости плотных асфальтобетонов даны для типа А. Для асфальтобетонов типов В и Д значение <math>E_y</math> уменьшают в 1,1 раза. Для асфальтобетонов типов Б и Г значение <math>E_y</math> увеличивают в 1,1 и 1,15 раза соответственно.</p> <p>3 При использовании плотного асфальтобетона в нижнем слое покрытия на глубине более 4 см от поверхности его модуль упругости <math>E_y</math> при 10 °С увеличивают в 1,15 раза.</p> <p>4 Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей увеличивают в 1,1 раза, а для крупнозернистых – в 1,2 раза</p>				

Таблица 5.6 – Значения модуля упругости асфальтобетона при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси		Расчетный модуль упругости при статическом действии нагрузки $E_y$ , МПа, при расчетной температуре, °С	
			20	50
Плотные смеси	ЩМСц	<i>A</i>	480	300
		<i>B</i>	400	250
		<i>B</i>	320	200
		<i>Г</i>	300	200
		<i>Д</i>	200	150
Пористые и высокопористые смеси	Крупнозернистая		360	250
	Мелкозернистая		290	200
	Песчаная		250	190
Холодные асфальтобетоны	Тип $B_x$		180	–
	Тип $B_x$		170	–
	Тип $Г_x$		160	–
	Тип $Д_x$		150	–

Таблица 5.7 – Характеристики асфальтобетона при расчете на сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев

Наименование материала	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Внутреннее сцепление $C$ , МПа
Асфальтобетон щебеночно-мастичный	43	0,28
Асфальтобетон крупнозернистый горячий пористый	39	0,29
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа <i>A</i>	39	0,27
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа <i>B</i>	38	0,31
Асфальтобетон крупнозернистый горячий плотный типа <i>A</i>	38	0,29
Асфальтобетон мелкозернистый горячий пористый	38	0,27
Асфальтобетон крупнозернистый горячий плотный типа <i>B</i>	37	0,33
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа <i>B</i>	36	0,33
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа <i>Г</i>	34	0,37
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа <i>Д</i>	32	0,35
Вибролитой асфальт	32	0,34
<p><i>Примечание</i> – Характеристики приведены для битума БНД 90/130. При применении битума БНД 60/90 и БМА 100/130 показатели <math>\varphi</math> увеличивают в 1,05 раза, <math>C</math> – в 1,2 раза. При применении битума БМА 70/100 показатели <math>\varphi</math> увеличивают в 1,06 раза, <math>C</math> – в 1,4 раза</p>		

Таблица 5.8 – Расчетные характеристики слоев из материалов и грунтов, укрепленных вяжущими веществами

Материал слоя	Расчетная характеристика материала	
	Модуль упругости $E_y$ , МПа	Прочность на растяжение при изгибе $R_u$ , МПа
Пески мелкие, супесь легкая, пылеватая, суглинок легкий, пески из отходов дробления горных пород, обработанные:		
цементом марок:		
100	850	0,50
75	750	0,40
60	550	0,30
40	400	0,20
20	250	0,15
комплексными вяжущими	400	0,30
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	270	0,25
Суглинки тяжелые, пылеватые, глины песчанистые, пылеватые, обработанные:		
комплексными вяжущими	250	0,15
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	150	0,10

Таблица 5.9 – Расчетные характеристики слоев из неукрепленных материалов

Материал слоя	Расчетная характеристика материала		
	Модуль упругости слоя $E_y$ , МПа	Внутреннее сцепление $C$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град
1	2	3	4
Фракционированный щебень марки 1000 и выше (из осадочных пород/из глубинных пород) крупностью до 70 мм, оптимального зернового состава по СТБ 1698, устроенный по способу заклинки:			
известняковой смесью, фосфогипсом	<u>450</u> 350	<u>0,07</u> 0,06	<u>48</u> 45
асфальтогранулятом по СТБ 1705	<u>440</u> 330	<u>0,06</u> 0,05	<u>45</u> 44
фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	<u>400</u> 300	<u>0,05</u> 0,04	<u>43</u> 42
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси по ГОСТ 25607:			
типов С1–С2	240	0,03	43
типов С3–С11	200	0,02	42
Фракционированный доломитовый щебень марки 600 и выше оптимального зернового состава по СТБ 1698, устроенный по способу заклинки:			
асфальтогранулятом по СТБ 1705	240	0,03	46

Окончание таблицы 5.9

1	2	3	4
фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	200	0,03	44
Щебеночно-песчаные смеси оптимального зернового состава по СТБ 1698 крупностью до 40 мм, песчано-гравийные смеси по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) более 30 %, минеральный бетон из гранитного отсева, из малопрочных известняков, доломитов малоперекристаллизованных	180	0,02	41
<p><i>Примечание</i> – При армировании основания дорожной одежды синтетическими геосетками, поверхностная плотность которых составляет не менее 350 г/м<sup>2</sup>; предел прочности при растяжении (в продольном и поперечном направлениях) – не менее 30 кН/м; относительное удлинение волокон при разрыве (в продольном и поперечном направлениях) – не более 16 %</p>			

**Пример** – Выполнить расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу. Проектируемая дорога относится к IV технической категории. Для группы нагрузок  $A_2$ , расчетный диаметр и давление колеса на покрытие:  $D = 0,39$  м;  $p = 0,6$  МПа (см. таблицу 2.1). Дорожная одежда: плотный мелкозернистый асфальтобетон на битуме БНД 90/130, пористый крупный асфальтобетон на битуме БНД 90/130, ПГС, песок средней крупности. Грунт земляного полотна – песок пылеватый. Влажность грунта  $W_p = 0,80$  %. Число накопленных осей  $\sum N_p = 79915$  шт.

Определяют  $E_{mp}$  по формуле (5.2):

$$E_{mp} = 98,65 \cdot [\lg 79915 - 3,23] = 165,00 \text{ МПа.}$$

По номограмме (см. рисунок 5.1) находим:

- 1)  $\frac{h}{D} = \frac{0,50}{0,39} = 1,28$ ;  $\frac{E_{cp}}{E_4} = \frac{60}{120} = 0,5$ ;  $E_{общ}^{***} = 96$  МПа;
- 2)  $\frac{h}{D} = \frac{0,30}{0,39} = 0,77$ ;  $\frac{E_{общ}^{***}}{E_3} = \frac{96}{180} = 0,53$ ;  $E_{общ}^{**} = 133,2$  МПа;
- 3)  $\frac{h}{D} = \frac{0,08}{0,39} = 0,21$ ;  $\frac{E_{общ}^{**}}{E_2} = \frac{133,2}{1400} = 0,095$ ;  $E_{общ}^* = 196$  МПа;
- 4)  $\frac{h}{D} = \frac{0,04}{0,39} = 0,10$ ;  $\frac{E_{общ}^*}{E_1} = \frac{196}{2640} = 0,074$ ;  $E_{общ} = 211,2$  МПа.

Результаты расчета представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет дорожной одежды на сопротивление упругому прогибу

Но- мер слоя	Материал	Упругий прогиб $E$ , МПа	$h$ , м	$h/D$	Общий модуль упругости, $E_{общ}$ , МПа
1	Плотный мелкозернистый асфальто-бетон на битуме БНД 90/130	2640	0,04	0,10	211,2
2	Пористый крупный асфальтобетон на битуме БНД 90/130	1400	0,08	0,21	196
3	ПГС	180	0,30	0,77	133,2
4	Песок средний	120	0,50	1,28	96
5	Грунт земляного полотна – песок пы-леватый	60	–	–	–

Таким образом, принятые толщины слоев дорожной одежды удовлетворяют условию по упругому прогибу, если

$$K_{np}^{mp} \leq \frac{E_{общ}}{E_{mp}}$$

Так как  $0,95 \leq \frac{211,2}{165,00} = 1,28$ , то толщины слоев дорожной одежды приняты

верно.

### 5.3 Расчет на сдвигоустойчивость грунтов земляного полотна и неукрепленных материалов конструктивных слоев дорожных одежд

Дорожную одежду проектируют так, чтобы при воздействии транспортных нагрузок в грунте земляного полотна и в неукрепленных материалах дорожной одежды не возникали деформации сдвига, что достигается выполнением условия прочности

$$K_{np}^{mp} \leq T_{np} / T_a, \quad (5.3)$$

где  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды, принимаемый по таблице 1.1;

$T_{np}$  – предельная величина активного напряжения сдвига в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции, МПа;

$T_a$  – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, не погашенного внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующего временного нагружения, МПа.

Предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$ , МПа, возникающее в грунте рабочего слоя (или в дополнительном слое основания), определяют по формуле

$$T_{np} = CK_1K_2, \quad (5.4)$$

где  $C$  – сцепление в грунте земляного полотна (или в песчаном слое), МПа;

$K_1$  – коэффициент учета особенностей работы рассчитываемого слоя (грунта) на границе с вышележащим слоем дорожной одежды, принимаемый по таблице 5.11;

$K_2$  – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды, определяемый по графику, представленному на рисунке 5.2.

При расчете на длительное действие нагружения принимают  $K_2 = 1,23$ , а величину  $N_{сум}$  находят по формуле

$$N_{сум} = \frac{\sum N_p}{T_{pдг} \cdot T_{сл}}, \quad (5.5)$$

где  $\sum N_p$  – число накопленных осей за расчетный срок службы, шт.;

$T_{pдг}$  – количество расчетных дней в году, сут.;

$T_{сл}$  – расчетный срок службы, лет.

Таблица 5.11 – Значения коэффициента  $K_1$

Материал вышележащего слоя	Коэффициент $K_1$
Укрепленный материал	$\frac{7,0}{5,5}$
Материал, армированный геосеткой	$\frac{6,5}{5,0}$
Материал без армирования, песок крупный	$\frac{6,0}{4,5}$
Песок средней крупности	$\frac{5,0}{4,0}$
Песок мелкий	$\frac{4,0}{3,0}$
Песок пылеватый, супеси легкие пылеватые	$\frac{3,0}{1,5}$
<i>Примечание</i> – В числителе приведены значения для случая расчета «дополнительный слой основания – несущий слой основания», в знаменателе – для случая расчета «грунт земляного полотна – основание дорожной одежды»	

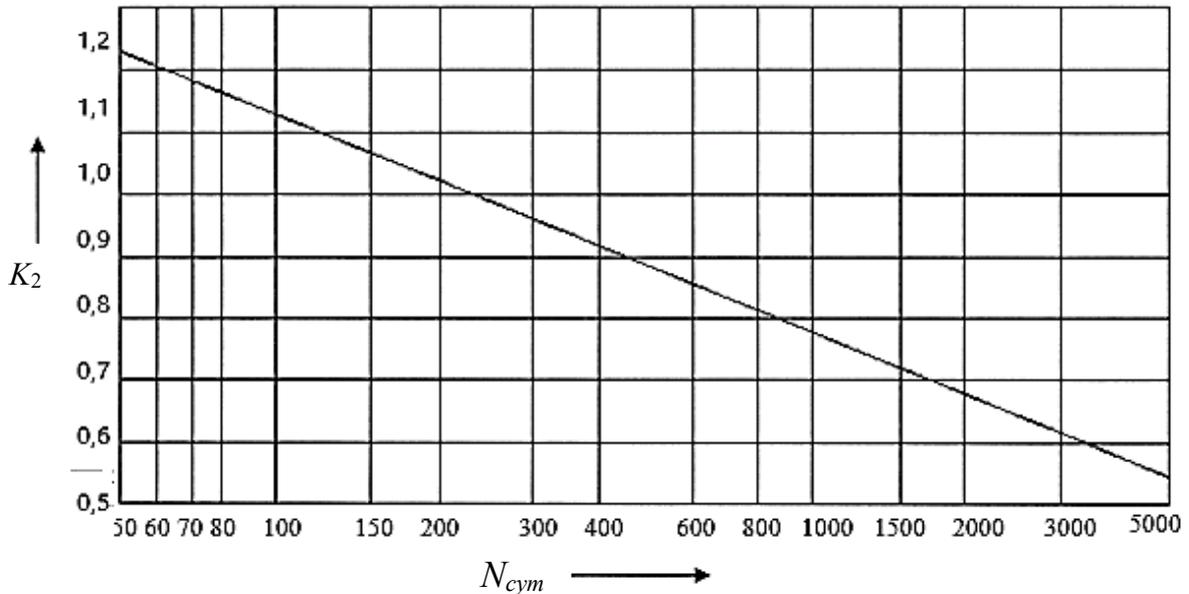


Рисунок 5.2 – Зависимость коэффициента  $K_2$  от количества расчетных нагружений за сутки  $N_{сут}$

Расчетное активное напряжение сдвига  $T_a$ , МПа, возникающее в грунте или в неукрепленных материалах, вычисляют по формуле

$$T_a = \overline{\tau_a} p + \tau_g, \quad (5.6)$$

где  $\overline{\tau_a}$  – активное напряжение сдвига от действия единичного нагружения, определяемое по номограммам, изображенным на рисунках 5.3 и 5.4, МПа;

$\tau_g$  – активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды, определяемое по номограмме, изображенной на рисунке 5.5, МПа.

При расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели.

При расчете сдвигоустойчивости грунта земляного полотна за нижний слой принимают грунт земляного полотна (с учетом его влажности), а за верхний – всю дорожную одежду толщиной  $h_g$ , равной сумме толщин слоев дорожной одежды.

Модуль упругости верхнего слоя дорожной одежды  $E_g$ , МПа, принимают как средневзвешенный модуль пакета слоев, рассчитанный по формуле

$$E_g = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (5.7)$$

где  $n$  – количество слоев дорожной одежды, шт.;

$E_i$  – модуль упругости  $i$ -го слоя, МПа;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м.

При пользовании номограммами, приведенными на рисунках 5.3 и 5.4, для определения  $\overline{\tau_a}$  величину  $\varphi$  принимают по таблицам 3.3 и 5.7.

При расчете сдвигоустойчивости неукрепленных материалов конструктивных слоев оснований дорожных одежд с помощью номограмм, изображенных на рисунках 5.3 и 5.4, каждому слою присваивают характеристики  $C_n$  и  $\varphi_n$ . Модуль упругости  $E_n$  принимают равным общему модулю упругости на поверхности рассчитываемого слоя; толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоев, которые лежат над песчаным слоем, а модуль упругости  $E_s$  рассчитывают как средневзвешенное значение для этих слоев по формуле (5.7).

При расчете несвязанных слоев дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модулей упругости материалов, которые содержат органическое вяжущее, определяют при температуре 20 °С.

При расчете на многократное воздействие транспортной нагрузки значение динамического модуля упругости асфальтобетонов принимают в соответствии с составом и маркой битума по таблицам 5.4–5.9. При расчете на статическое действие нагрузки принимают модули упругости материалов, соответствующие длительности действия нагрузки не менее 600 с, по таблицам 5.4–5.9.

Расчетные модули упругости слоев из асфальтобетона при температуре 20 °С принимают по таблице 5.5; расчетные прочностные характеристики  $C$  и  $\varphi$  грунта земляного полотна и песка подстилающего слоя дорожной одежды (если такой есть) – с учетом расчетной влажности по таблице 3.3. Другие расчетные характеристики грунта и материалов принимают те же, что и в расчете по упругому прогибу:

- по рисункам 5.3 и 5.4 определяют активное напряжение сдвига  $\overline{\tau_a}$  от однократного кратковременного нагружения. Для этого приводят многослойную дорожную конструкцию к двухслойной расчетной модели;

- по формуле (5.4) определяют предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$ , возникающее в грунте земляного полотна или в песчаных слоях дорожной одежды;

- по формуле (5.6) определяют расчетное активное напряжение сдвига  $T_a$ , возникающее в грунте земляного полотна;

- по условию (5.3) проверяют выполнение условия прочности;

- при необходимости, изменяя толщину конструктивных слоев, подбирают конструкцию, которая отвечает условию (5.3).

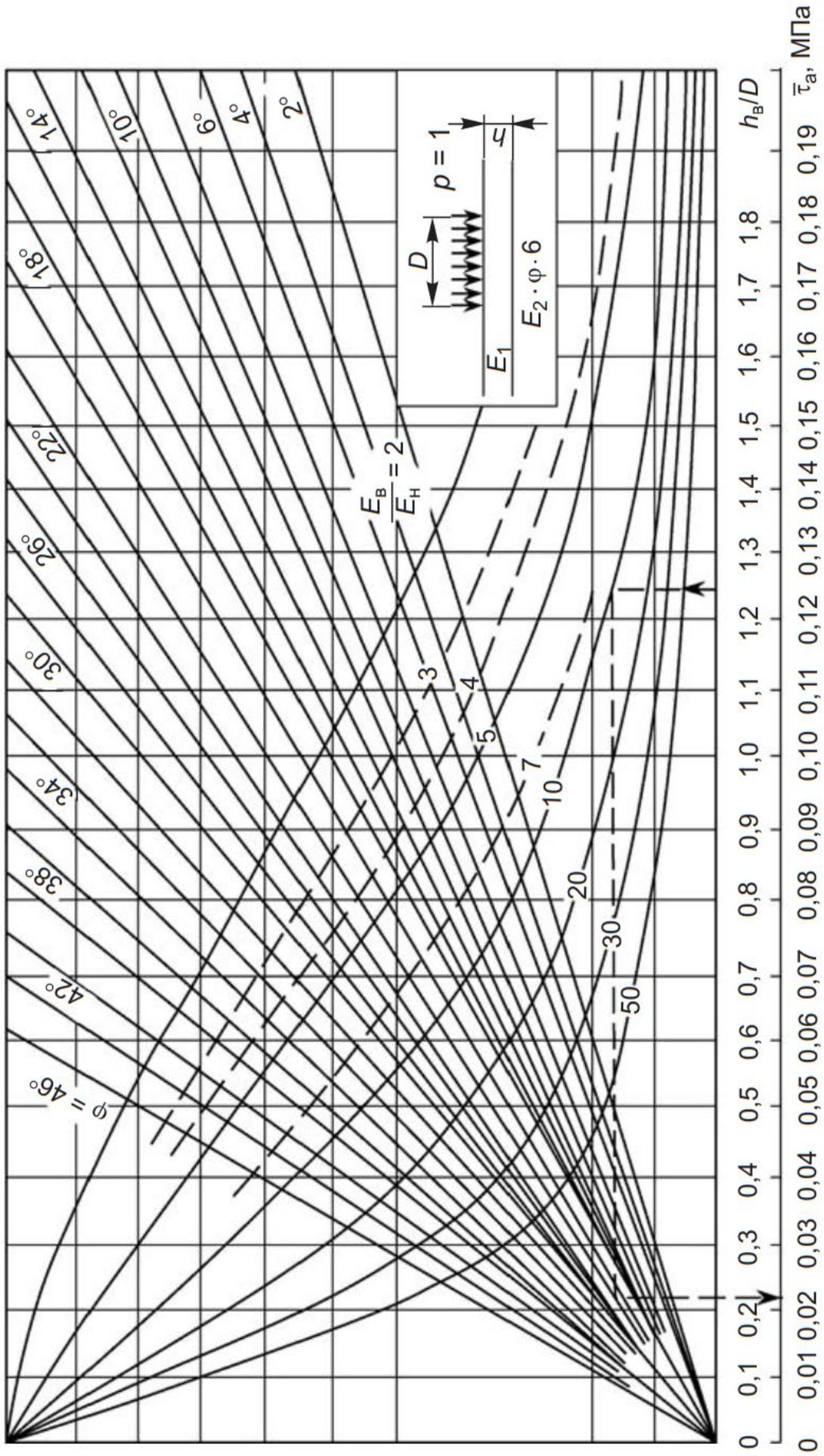


Рисунок 5.3 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига  $\bar{\tau}_a$  от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при  $h_e/D = 0 \dots 2$ )

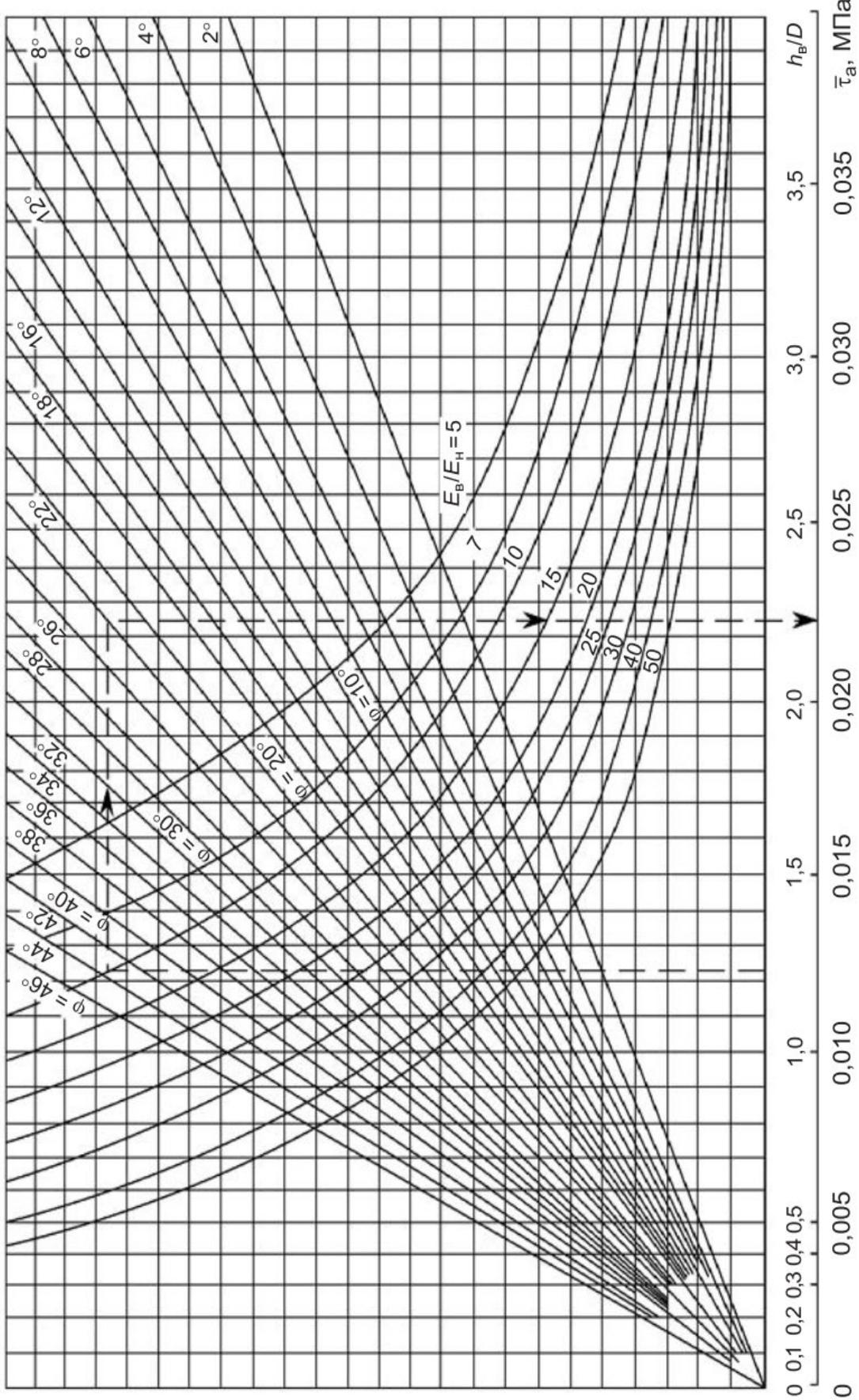


Рисунок 5.4 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига  $\bar{\tau}_a$  от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при  $h_B/D = 2,0 \dots 4,0$ )

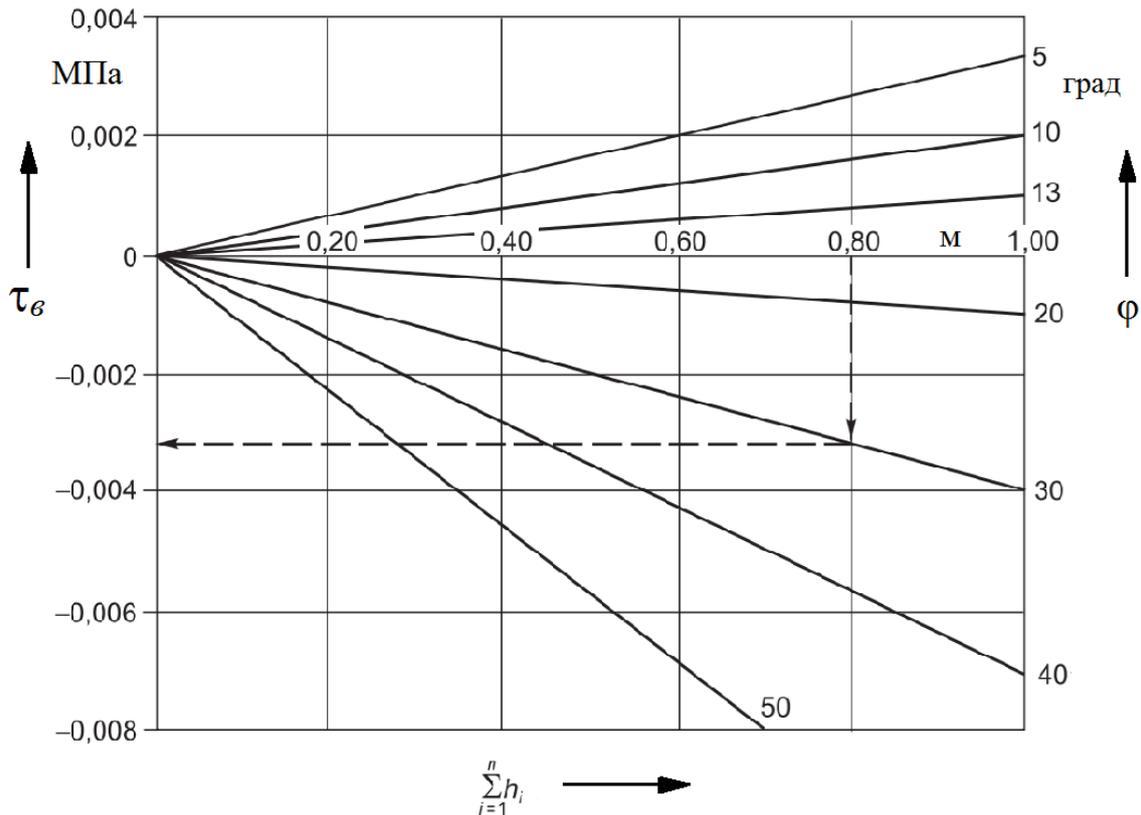


Рисунок 5.5 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига от собственного веса дорожной одежды  $\tau_c$

**Пример** – Выполнить расчет на сдвигоустойчивость грунта земляного полотна. Проектируемая дорога относится к IV технической категории. Для группы нагрузок  $A_2$ , расчетный диаметр и давление колеса на покрытие:  $D = 0,39$  м;  $p = 0,6$  МПа (см. таблицу 2.1). Дорожная одежда: плотный мелкозернистый асфальтобетон на битуме БНД 90/130 ( $h_1 = 4$  см), пористый крупный асфальтобетон на битуме БНД 90/130 ( $h_2 = 8$  см), ПГС ( $h_3 = 30$  см), песок средней крупности ( $h_4 = 50$  см). Грунт земляного полотна – песок пылеватый. Влажность грунта  $W_p = 0,80$  %. Число накопленных осей  $\sum N_p = 79915$  шт. Число расчетных дней в году  $T_{pog} = 125$  сут.

Средневзвешенный модуль пакета слоев рассчитывают по формуле (5.7):

$$E_c = \frac{1320 \cdot 0,04 + 800 \cdot 0,08 + 180 \cdot 0,3 + 120 \cdot 0,5}{0,04 + 0,08 + 0,3 + 0,5} = 250,87 \text{ МПа.}$$

Далее определяют отношения:

$$\frac{E_c}{E_{cp}} = \frac{250,87}{60} = 4,18; \quad \frac{h_{общ}}{D} = \frac{0,92}{0,39} = 2,36$$

при  $\varphi = 34^\circ$ .

По номограмме (см. рисунок 5.4) находят удельное напряжение сдвига  $\overline{\tau_a} = 0,0096$  МПа и по номограмме (см. рисунок 5.5) – активное напряжение от веса одежды  $\tau_g = -0,0048$  МПа.

Тогда по формуле (5.6) находят  $T_a = 0,0096 \cdot 0,6 - 0,0048 = 0,00084$ .

Чтобы найти коэффициент  $K_2$ , по формуле (5.5) вычисляют  $N_{сум}$ :

$$N_{сум} = \frac{79915}{125 \cdot 8} = 80 \text{ авт./сут.}$$

По формуле (5.4) рассчитывают  $T_{np} = 0,011 \cdot 1,5 \cdot 1,17 = 0,019$  МПа.

По (5.3) проверяют выполнение условия прочности:

$$0,94 \leq \frac{0,019}{0,00054} = 35,18.$$

Таким образом, условие выполняется.

#### **5.4 Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению при растяжении при изгибе**

В монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе дорожной одежды под действием кратковременных повторных нагрузений, не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин. Для этого должно выполняться условие

$$K_{np}^{mp} \leq \frac{R_{дон}}{\sigma_r}, \quad (5.8)$$

где  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды с учетом заданного коэффициента надежности, принимаемый по таблице 1.1;

$R_{дон}$  – предельно допустимое напряжение изгиба материала слоя с учетом усталости, определяемое расчетом, МПа;

$\sigma_r$  – полное растягивающее напряжение при изгибе, определяемое расчетом, МПа.

Предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона  $R_{дон}$ , МПа, определяют по формуле

$$R_{дон} = R_u \cdot (1 - 0,1t) \cdot K_m \cdot K_m \cdot K_{кн}, \quad (5.9)$$

где  $R_u$  – прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе с учетом повторности действия напряжений, МПа;

$t$  – коэффициент нормированного отклонения (см. таблицу 3.2);

$K_M$  – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона во времени от действия природно-климатических факторов (таблица 5.12);

$K_m$  – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона в конструкции в результате температурных воздействий (см. таблицу 5.12);

$K_{кн}$  – коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу, определяемый по формуле

$$K_{кн} = \alpha \cdot \sum N_p^{-(1/m)}, \quad (5.10)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повторность нагружения в нерасчетный период года; принимают в соответствии с приложением Б;

$m$  – показатель усталости материала; принимают в соответствии с приложением Б;

$\sum N_p$  – число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции дорожной одежды за расчетный срок службы, шт.

Таблица 5.12 – Значения коэффициентов  $K_M$  и  $K_m$

Материал покрытия	$K_M$	$K_m$
Асфальтобетон на модифицированном вяжущем	1,00	1,00
Асфальтобетон плотный:		
марки I	1,00	0,90
марки II	0,95	0,85
марки III	0,85	0,80
Асфальтобетон пористый марки:		
марки I	0,85	0,90
марки II	0,80	0,80
Асфальтобетон высокопористый	0,70	0,70

Полное растягивающее напряжение при изгибе  $\sigma_r$ , МПа, определяют по формуле

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot K_\delta, \quad (5.11)$$

где  $\bar{\sigma}_r$  – растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, МПа;

$K_\delta$  – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия под колесом автомобиля со спаренными баллонами ( $K_\delta = 0,85$ ) и однобаллонными колесами ( $K_\delta = 1,0$ ).

В практике проектирования дорожных одежд встречаются два характерных случая:

1) монолитный слой или некоторая сумма смежных слоев из однотипных монолитных материалов находится в верхней части дорожной одежды – это асфальтобетоны и подобные им покрытия, асфальтобетонные основания, расположенные непосредственно под асфальтобетонным покрытием;

2) монолитный слой, расположенный в толщине дорожной одежды, – разного рода монолитные основания.

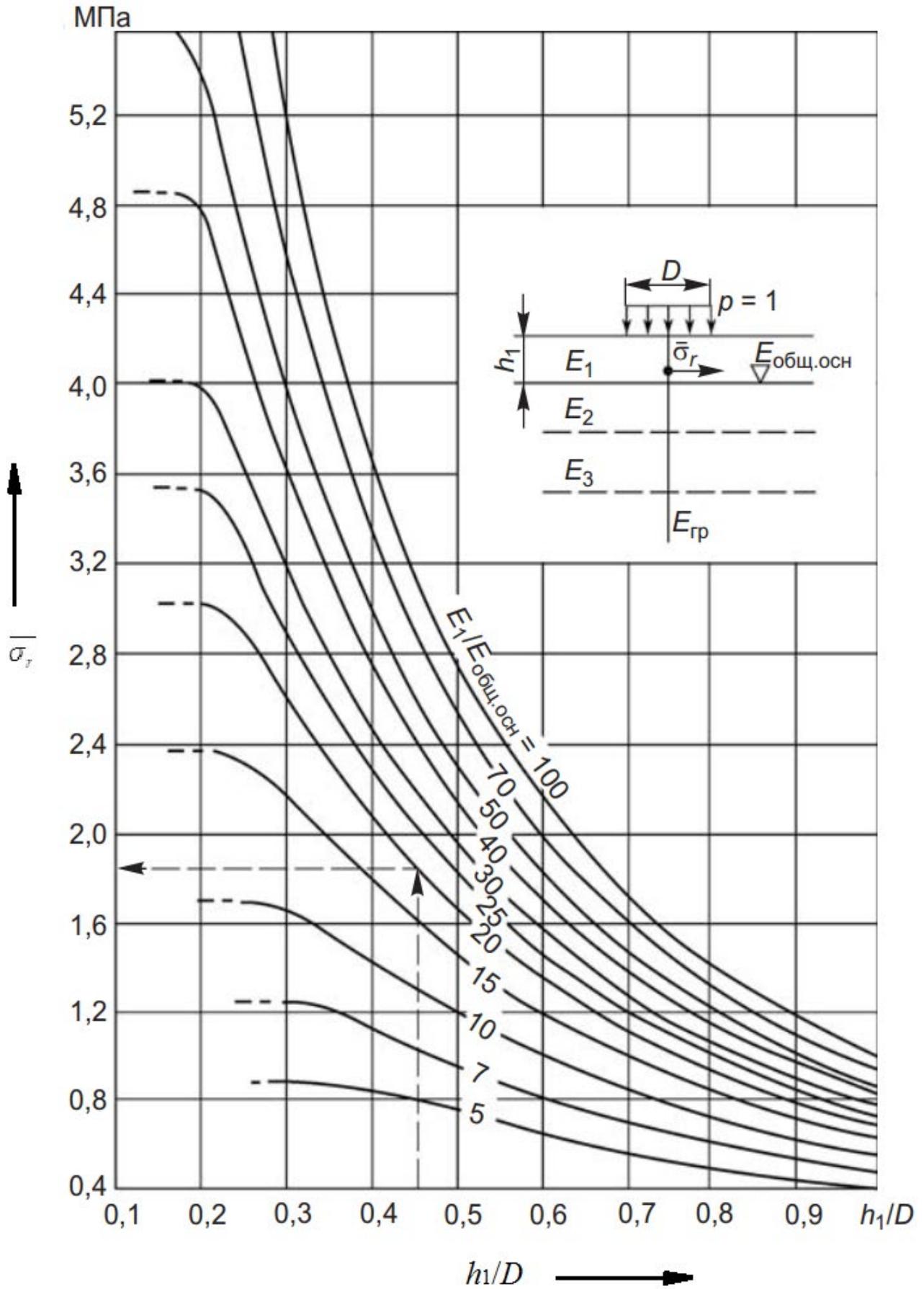


Рисунок 5.6 – Номограмма для определения растягивающего напряжения  $\bar{\sigma}_r$  при изгибе от одиночного нагружения в верхнем монолитном слое дорожной одежды

Однослойные монолитные покрытия рассчитывают на напряжение при изгибе с помощью номограммы (рисунок 5.6). Номограмма связывает относительную толщину покрытия  $h_1/D$  (горизонтальная ось) и отношение модуля упругости материала покрытия к общему модулю на поверхности основания  $E_1/E_{общ.осн}$  (кривые на номограмме) с максимальным напряжением на растяжение при изгибе  $\sigma_r$  в материале покрытия от местного нагружения, равного 1 МПа (вертикальная ось). Значение диаметра  $D$  принимают по таблице 2.1. Модуль упругости материала покрытия принимают в соответствии с таблицей 5.4. Номограмма построена для наиболее неблагоприятного случая, когда сцепление покрытия с основанием недостаточно.

При расчете на изгиб нижнего слоя двухслойного покрытия и слоев асфальтобетонного основания, подстилающего асфальтобетонное покрытие, необходимо пакет асфальтобетонных слоев в целом принимать за один эквивалентный слой. В этом случае модуль упругости эквивалентного слоя толщиной, соответствующей общей толщине пакета, необходимо определять по формуле (5.7), а рассчитывать – на выполнение условия (5.8) в нижнем слое асфальтобетонного основания, если он обладает наименьшей прочностью на растяжение при изгибе. Расчетные характеристики принимают в соответствии с таблицей 5.4. Если минимальной прочностью среди асфальтобетонных слоев обладает один из вышележащих слоев, то в расчет принимаются средневзвешенные расчетные характеристики пакета слоев.

Для монолитных слоев рассчитывается только один нижний слой.

**Пример** – Выполнить расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению при растяжении при изгибе. Проектируемая дорога относится к IV технической категории. Для группы нагрузок  $A_2$ , расчетный диаметр и давление колеса на покрытие:  $D = 0,39$  м;  $p = 0,6$  МПа (см. таблицу 2.1). Дорожная одежда: плотный мелкозернистый асфальтобетон на битуме БНД 90/130 ( $h_1 = 4$  см), пористый крупный асфальтобетон на битуме БНД 90/130 ( $h_2 = 8$  см). Общий модуль упругости на поверхности основания  $E_{общ.осн} = 133,2$  МПа. Число накопленных осей  $\sum N_p = 79915$  шт.

Определяем общий средний модуль упругости асфальтобетонного покрытия по формуле (5.7):

$$E_{cp} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} = \frac{4140 \cdot 4 + 2200 \cdot 8}{4 + 8} = 2846,7 \text{ МПа.}$$

Находим отношения:

$$\frac{E_{cp}}{E_{общ.осн}} = \frac{2846,7}{133,2} = 21,4; \quad \frac{h_{об}}{D} = \frac{12}{39} = 0,31.$$

По номограмме (см. рисунок 5.6) находим растягивающее напряжение  $\bar{\sigma}_r = 2,6$  МПа. Полное растягивающее напряжение

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot K_\sigma = 2,6 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 1,56 \text{ МПа.}$$

Расчетное допустимое сопротивление растяжению при изгибе

$$R_{доп} = R_u \cdot (1 - 0,1t) \cdot K_m \cdot K_n \cdot K_{кн} = 7,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,32) \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,51 = 2,64 \text{ МПа,}$$

$$K_{кн} = \alpha \cdot \sum N_p^{-(1/m)} = 8,6 \cdot 79915^{-(1/4)} = 0,51.$$

Проверяем условие  $K_{np}^{mp} \leq \frac{R_{доп}}{\sigma_r}$ .

$$0,94 \leq \frac{2,64}{2,6} = 1,02, \text{ т. е. условие выполняется.}$$

## 6 Определение расходов воды на малых водосборах

К малым относятся водосборы с площадью бассейна не более 100 км.

За расчетный расход воды принимается наибольший, возможный расход, повторяющийся один раз в 100 лет, 50 лет или 33 года в зависимости от капитальности сооружения и категории дороги. При расчетах малых мостов и труб расчетный расход характеризуется как расход с вероятностью превышения (ВП) расчетных паводков в зависимости от категории дороги (таблица 6.1) [1].

Таблица 6.1 – Зависимость вероятности превышения паводков от категории дороги

Категория дороги	I	II–III	IV–V
Вероятность превышения, %	1	2	3

Поэтому вычисляют максимальные расходы стока талых вод и ливневого стока и в качестве расчетного принимают большее из полученных значений.

Максимальный расход талых вод  $Q_T$ , м/с, для условий Беларуси определяют по нормам:

$$Q_T = \frac{0,56 h_n \cdot F}{(1 + \alpha) \gamma \cdot t_n} \delta_n \cdot \delta_\sigma, \quad (6.1)$$

где  $h_n$  – слой стока в фазе подъема половодья расчетной вероятности превышения, мм;

$F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент формы гидрографа;

$\gamma$  – коэффициент полноты гидрографа;

$t_n$  – продолжительность подъема половодья в сутки максимальной интенсивности снеготаяния, ч;

$\delta_n$  – коэффициент, учитывающий влияние лесистости водосбора на величину расхода талых вод;

$\delta_b$  – коэффициент, учитывающий влияние заболоченности водосбора на величину расхода талых вод.

Слой стока в фазе подъема  $h_n$  зависит от гидролого-географической зоны и от рода грунта. Его принимают по картограмме (рисунок 6.1), на которой слои стока даны с вероятностью превышения 1 %. При вероятности превышения 2 % слой стока, снятый с картограммы, умножают на коэффициент 0,87, при вероятности превышения 3 % – на коэффициент 0,81.

Значения параметров  $h_n$  указаны по порядку для глинистых, супесчаных и песчаных грунтов.

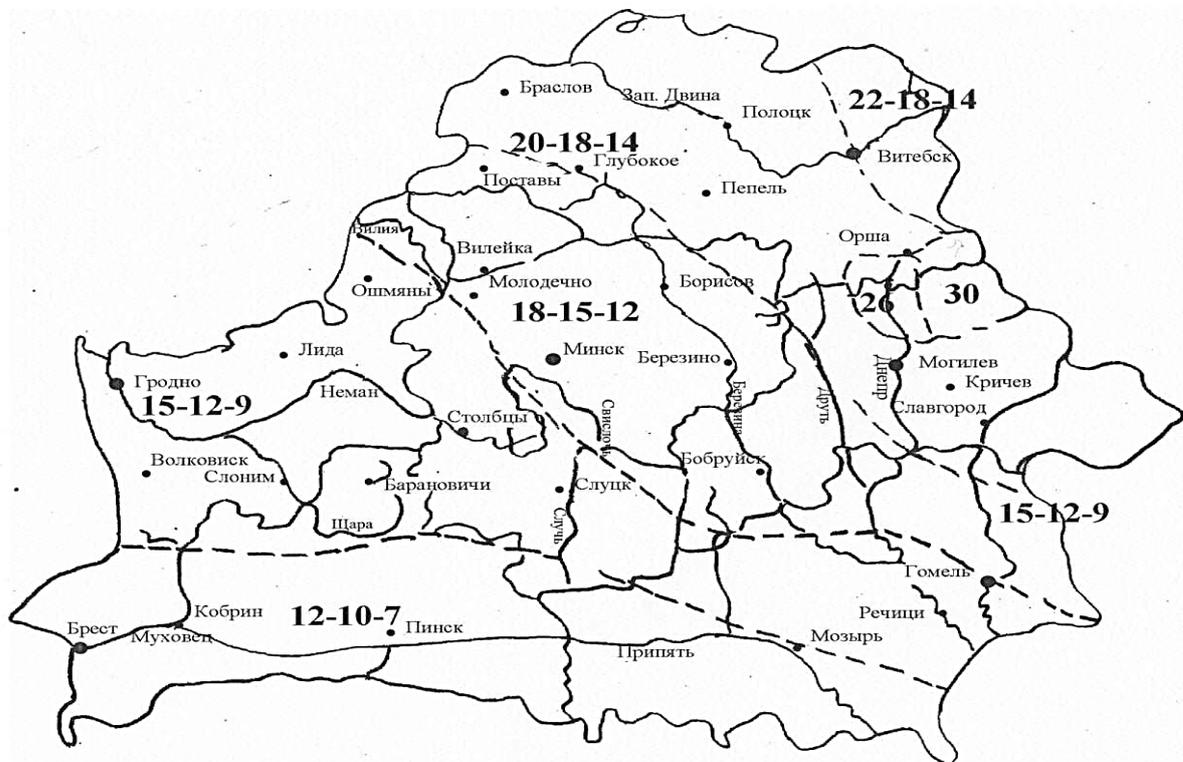


Рисунок 6.1 – Картограмма слоев стока  $h_n$

Продолжительность подъема половодья находят из выражения

$$t_n = t_c + t_l, \quad (6.2)$$

где  $t_c$  – продолжительность водоотдачи на склоны и склонового стекания, ч;

$t_l$  – продолжительность стекания по логу, ч.

Значения величин  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $t_c$  приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Значения величин  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $t_c$ 

Географическая зона	$\alpha$	$\gamma$	$t_c$	Широта пунктов, град
Северная широта, град				52 (Брест)
51...53	0,10	0,77	3	53,5 (Гродно)
53...55	0,15	0,79	4	55 (Витебск)
55...57	0,20	0,81	5	54 (Минск)
				52 (Гомель)
				54 (Могилев)

## Продолжительность стекания по логу

$$t_{\text{л}} = \frac{1,85 \cdot L}{Q^{1/4} \cdot i_0^{1/3}}, \quad (6.3)$$

где  $L$  – длина лога от водораздела до створа, км;

$Q$  – расход талых вод, м<sup>3</sup>/с;

$i_0$  – средний общий уклон лога от самой удаленной точки водораздела до расчетного створа, ‰.

Коэффициенты  $\delta_{\text{л}}$  и  $\delta_{\text{б}}$  учитывают снижение расхода талых вод в связи с залесенностью и заболоченностью бассейна. Их принимают по таблице 6.3. На значение коэффициента  $\delta_{\text{л}}$  влияют общая лесистость зоны  $F_{\text{л}}$  (таблица 6.4) и собственная лесистость водосбора  $f_{\text{л}}$ . При определении лесистости водосбора лес на болотах не учитывают. Значение  $\delta_{\text{л}}$  в районе протекания водотока принимают по карте лесистости Беларуси (рисунок 6.2) и таблице 6.3.

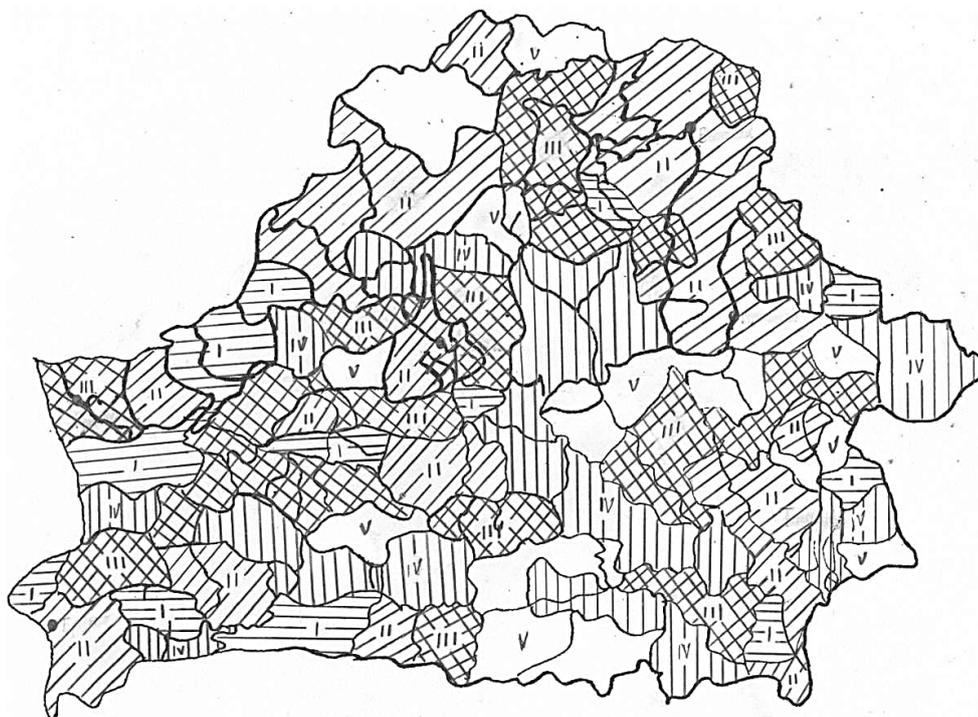


Рисунок 6.2 – Карта лесистости Беларуси

Таблица 6.3 – Значение коэффициентов  $\delta_l$  и  $\delta_b$ 

$f_l$ и $f_b$ , %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Значение коэффициента $\delta_l$												
$F_l$	0,20	1,00	0,87	0,81	0,70	0,64	0,58	0,53	0,50	0,46	0,43	0,41
	0,25	1,00	0,88	0,81	0,72	0,67	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44
	0,30	1,00	0,90	0,82	0,74	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
	0,35	1,00	0,90	0,83	0,75	0,71	0,65	0,61	0,54	0,54	0,51	0,48
	0,20	1,00	0,87	0,81	0,70	0,64	0,58	0,53	0,50	0,46	0,43	0,41
Значение коэф- фициента $\delta_b$	–	0,92	0,85	0,79	0,74	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53	
Примечание – $f_l$ и $f_b$ – собственная лесистость и заболоченность водосбора, %												

Таблица 6.4 – Значение общей относительной лесистости  $F_l$ 

Зона	Общая относительная лесистость $F_l$
I	До 0,15
II	0,15...0,25
III	0,25...0,35
IV	0,35...0,45
V	Св. 0,45

Максимальный расход талых вод находят следующим образом. Принимают значения величин  $h_n$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $t_o$ ,  $\delta_l$ ,  $\delta_b$ . Затем определяют продолжительность стока по логу  $t_l$ , предварительно задаваясь расходом  $Q$ , который находят по выражению

$$Q = q \cdot F, \quad (6.4)$$

где  $q$  – модуль стока,  $\text{м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$ .

Модуль стока  $q$  принимают по таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Значение модуля стока  $q$ 

Зона Беларуси	Северо-восточная	Юго-восточная	Юго-западная	Северо-западная
$q$ , $\text{м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$	1,5...2,0	0,8...1,0	0,6...0,8	1,2...1,5

При песчаных грунтах водосборного бассейна предварительное значение модуля стока  $q$  принимают равным от 0,4 до 0,8  $\text{м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2)$ , меньшее значение соответствует южной зоне республики.

После этого определяют величину  $t_n$  и максимальный расход  $Q_T$ . Если полученное значение  $Q_T$  отклоняется от предварительно принятого  $Q$  не более чем на 5 %, то расчет можно считать законченным. В противном случае расчет повторяют, задаваясь новым значением  $q$ .

Максимальный расход ливневых вод

$$Q_{л} = 0,56 \cdot a_p \cdot i_0^{0,3} \cdot F \cdot \delta \cdot \lambda, \quad (6.5)$$

где  $a_p$  – расчетная интенсивность водоотдачи при уклоне лога, равном 1 ‰, мм/ч;

$i_0$  – общий уклон лога, ‰;

$F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$\delta$  – коэффициент снижения расхода из-за залесенности и заболоченности водосбора;

$\lambda$  – переходный коэффициент, зависящий от вероятности превышения паводка (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Зависимость коэффициента  $\lambda$  от вероятности превышения паводка

Вероятность превышения паводка, %	1	2	3	5
$\lambda$	1,00	0,85	0,77	0,67

Расчетная интенсивность водоотдачи при уклоне лога, равном 1 ‰,

$$a_p = \frac{k}{(F + 0,15)^{0,43}}, \quad (6.6)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от рельефа водосбора (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Зависимость коэффициента  $K$  от уклона лога

$i_0 = 1 \text{ ‰}$	10	20	30	40	50	60
$K$	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	6,1

Коэффициент снижения расхода рассчитывается по формуле

$$\delta = (1 - 0,8f_l - f_б), \quad (6.7)$$

где  $f_l, f_б$  – относительная залесенность и заболоченность водосбора соответственно.

Для водосборов, сложенных легко дренирующими грунтами (открытые пески, легкие супеси), залесенность водосборов не учитывается.

**Пример** – Для расчёта отверстия водопропускной трубы требуется определить максимальный расчётный расход воды. По топографической карте установлены площадь водосбора  $F = 3,48$  км, длина лога  $L = 3,1$  км, общий уклон лога  $t = 23$  ‰. При определении водосборной площади масштаб карты должен быть таким, чтобы площадь водосбора на ней была не менее 5 см.

Дорога IV категории проходит в Могилёвском районе, в зоне 54° северной широты. Из таблицы 6.2 принимаем значение  $\alpha = 0,15$ ,  $\gamma = 0,79$ ,  $t_c = 4$  ч. Из рисунка 6.1 слой стока для песчаного грунта составляет 14 мм. С учётом вертикальной планировки, равной 3 ‰, окончательно слой стока

$$h = 0,81 \cdot 14 = 11 \text{ мм.}$$

Общая лесистость зоны в районе протекания водотока  $F$  по карте лесистости Беларуси составляет 20 %, лесистость водосбора по топографической карте – 5 %. Коэффициент равен 0,94.

Заболоченных участков на водосборе нет, и коэффициент равен 1.

Для определения продолжительности стока по логу  $t_L$  (формула (6.3)) задаёмся модулем стока  $q$ , равным 0,8 м/(с·км), и предварительно определяем расход по формуле (6.4):

$$Q = 0,8 \cdot 3,48 = 2,78 \text{ м/с.}$$

$$t_L = \frac{1,85 \cdot 3,10}{2,78^{1/4} \cdot 23^{1/3}} = 1,56 \text{ ч.}$$

Продолжительность подъёма половодья определяем по формуле (6.2):

$$t_n = 4 + 1,56 = 5,56.$$

Максимальный расход талых вод определяем по формуле (6.1):

$$Q_T = \frac{0,56 \cdot 11 \cdot 3,48}{(1+0,15) \cdot 0,79 \cdot 5,56} \cdot 0,94 \cdot 1,00 = 3,99 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Полученное значение расхода отличается от предварительно принятого (2,78 м/с) на 30,3 %.

Принимаем новое значение  $q = 1,2$  м/(с·км) и находим новое значение расхода:

$$Q = 12 \cdot 3,48 = 4,18 \text{ м/с; } t_L = \frac{1,85 \cdot 3,10}{4,18^{1/4} \cdot 23^{1/3}} = 1,41 \text{ ч; } t_n = 4 + 1,41 = 5,41 \text{ ч;}$$

$$Q_T = \frac{0,56 \cdot 11 \cdot 3,48}{(1+0,15) \cdot 0,79 \cdot 5,41} \cdot 0,94 \cdot 1,00 = 4,10 \text{ м}^3/\text{с.}$$

В данном случае ошибка составляет 1,9 %. Окончательно принимаем максимальный расход талых вод равным 4,1 м/с.

Для нахождения максимального расхода ливневых вод определяем расчётную интенсивность водоотдачи  $\alpha_p$  (формула (6.6)) при уклоне лога, равном 1 ‰; коэффициент  $K$  равен 6,1 мм/ч:

$$\alpha_p = \frac{6,10}{(3,48 + 0,15)^{0,43}} = 3,50 \text{ мм/ч.}$$

Для водосборов, сложенных легкодренирующими грунтами, коэффициент снижения расхода равен 1. С учётом вертикальной планировки, равной 3 %, коэффициент 0,77.

Максимальный расход ливневых вод определяем по формуле (6.5):

$$Q_L = 0,50 \cdot 3,50 \cdot 23^{0,3} \cdot 3,48 \cdot 1,00 \cdot 0,77 = 13,45 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Максимальный расход ливневых вод превышает максимальный расход талых вод. В качестве расчётного расхода принимаем наибольший, равный 13,45 м<sup>3</sup>/с, по величине которого назначают диаметр трубы  $d_{mp}$ , используя таблицу 6.8.

Таблица 6.8 – Пропускная способность одноочковой трубы

$d_{mp}$ трубы, м	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$h_{кр}$ , м	$h_{сж}$ , м	$i_{кр}$	$H$ , м
1,00	0,5	0,4	0,36	0,001	0,64
	1,0	0,57	0,52	0,004	0,94
	1,4	0,68	0,62	0,004	1,15
	1,7	0,75	0,68	0,006	1,27
1,2	1,0	0,55	0,5	0,004	0,87
	1,5	0,66	0,6	0,005	1,1
	2,0	0,77	0,7	0,005	1,29
	2,5	0,87	0,79	0,006	1,50
	2,6	0,89	0,81	0,006	1,52
1,4	2,5	0,86	0,78	0,006	3,4
	2,8	0,91	0,83	0,006	3,6
	3,0	0,95	0,86	0,006	3,7
	3,5	1,03	0,94	0,007	3,9
	3,8	1,06	0,96	0,007	4,1
1,6	2,5	0,8	0,73	0,004	1,31
	3,0	0,87	0,79	0,004	1,47
	3,5	0,94	0,86	0,004	1,55
	4,0	1,02	0,92	0,005	1,7
	4,5	1,08	0,98	0,005	1,82
	5,0	1,14	1,04	0,005	1,94
	5,3	1,18	1,07	0,006	2,04

Так как площадь водосборного бассейна мала, склоны крутые, около 50 %, продольный уклон лога составляет более 5 %, аккумуляцию воды перед сооружением не учитываем.

## 7 Определение минимальной высоты насыпи у трубы

После того, как установлено отверстие трубы, определяют минимальную высоту насыпи у трубы  $H_{\min}$ .

При безнапорном режиме протекания

$$H_{\min} = d_{mp} + t + h_{бр}, \quad (7.1)$$

где  $d_{mp}$  – диаметр или высота отверстия трубы в свету, м;

$t$  – толщина стенки трубы, м;

$h_{бр}$  – минимальное возвышение бровки насыпи над трубой, м.

В любом случае минимальное возвышение бровки над трубой должно быть не менее 0,5 м.

Если подпор воды  $H$  больше отверстия трубы  $d_{mp}$  ( $H > d_{mp}$ ), то минимальная высота насыпи

$$H_{\min} = H + 0,50. \quad (7.2)$$

При полунпорном и напорном режимах протекания воды высота насыпи у трубы должна быть не менее чем на 1 м выше подпертого уровня воды:

$$H_{\min} = H + 1,00. \quad (7.3)$$

## 8 Проектирование конструкции водопропускной трубы

Проектирование конструкции водопропускной трубы включает выбор типа фундамента трубы, определение длины трубы и количества звеньев, определение отметок дна трубы, проектирование укрепления русел на входе и выходе из трубы и укрепление откосов насыпи.

Круглые трубы укладывают на гравийно-песчаной подушке, на сборном железобетонном фундаменте, на бетонном, монолитном фундаментах.

Тип фундамента определяют в зависимости от инженерно-геологических условий, глубины залегания грунтовых вод, гидрологического режима работы сооружения, высоты насыпи.

Гравийно-песчаную подушку применяют только для труб, работающих в безнапорном режиме. Устраивают подушку из щебеночно-песчаной или гравийно-песчаной смеси толщиной 0,3 м, укладываемую на тщательно уплотненный естественный грунт.

Бетонные, монолитные фундамента устраивают в виде секций длиной 3,5 или 5,0 м, толщиной 0,3 м.

Максимальная высота насыпи для фундаментных труб приведена в типовых проектах.

Теоретическая длина трубы поверху при устройстве оголовков, состоящих из порталной стенки и двух боковых откосных крыльев,

$$L_T = B + 2mH_{\min} - 2m(d_{mp} + t), \quad (8.1)$$

где  $B$  – ширина земляного полотна, м;

$m$  – коэффициент заложения откоса насыпи;

$H_{\min}$  – минимальная высота насыпи у трубы, м;

$d_{mp}$  – диаметр отверстия трубы, м;

$t$  – толщина стенки трубы, м.

Теоретическая длина безоголовочной трубы понизу с нормальным входным и выходным звеньями

$$L_T = B + 2mH_{\min}. \quad (8.2)$$

При строительстве водопропускная труба собирается из отдельных звеньев и оголовков. Звеньями являются железобетонные трубы, изготавливаемые промышленностью по ГОСТ 32871–2014. Фактическая длина трубы должна быть не менее теоретической.

Фактическая длина поверху для труб с оголовками

$$L_{\phi} = l_2 + l \cdot n + \Delta(n - 1) + 2t_n + 2\Delta_1, \quad (8.3)$$

где  $l_2$  – внутренняя длина раструба, м;

$l$  – длина звена, м;

$\Delta$  – зазор между звеньями водопропускной трубы, м;

$n$  – количество звеньев;

$t_n$  – ширина портала, м;

$\Delta_1$  – зазор между трубой и порталом.

Значения величин даны в стандартах и типовых проектах. Некоторые размеры водопропускных труб приведены в таблице 8.1.

Зазор  $\Delta$  принимают равным 15 мм,  $\Delta_1 = 10$  мм.

Пропускная способность одноочковой трубы.

Фактическая длина понизу для безоголовочной трубы

$$L_{\phi} = l_2 + (l + \Delta)n - \Delta. \quad (8.4)$$

В необходимых случаях над входным и выходным оголовками устраивают бермы шириной не менее 0,8 м.

Таблица 8.1 – Характеристики безнапорных, железобетонных, вибропрессованных, раструбных звеньев водопропускных труб по ГОСТ 32871–2014

Марка звена	Геометрический размер, мм			Объем бетона, м <sup>3</sup>
	Внутренний диаметр $d_{np}$ , мм	Толщина стенки $t$ , мм	Полезная длина звена $l$ , мм	
ТВ 100.50-1	1000	75	5000	1,42
ТВ 120.50-1	1200	85	5000	1,98
ТВ 140.50-1	1400	95	5000	2,66
ТВ 160.50-1	1600	105	5000	3,28
ТВ 100.25-1	1000	110	2500	1,1
ТВ 120.25-1	1200	120	2500	1,45
ТВ 140.25-1	1400	135	2500	1,88
ТВ 160.25-1	1600	130	2500	1,94

Продольный уклон трубы обычно назначают равным поперечному уклону местности. Однако он должен быть не менее критического уклона  $l_{кр}$  и не более 20 ‰. Трубы под насыпями высотой до 12 м укладывают со строительным подъемом. Поэтому профиль лотка трубы с учетом строительного подъема  $f$  образуется ломаной линией, вписанной в дугу окружности. Эта ломаная линия

образуется отрезками, равными длинам звеньев трубы. Величина строительного подъема  $f$  назначается в зависимости от грунтов основания. На песчаных, галечных и гравелистых основаниях  $f$  составляет  $1/80 h_p$  при фундаментах и гравийно-песчаных подушках; на глинистых, суглинистых и супесчаных грунтах основания  $f$  составляет  $1/50 h_p$  – при фундаментах и  $1/40 h_p$  – при гравийно-песчаных подушках.

При высоте насыпи более 12 м величина строительного подъема определяется в зависимости от величины расчетных осадок.

При устройстве труб на скальных грунтах строительный подъем не назначают.

Отметку дна трубы по оси дороги  $H_0$  принимают из продольного профиля. Отметки дна трубы на входе  $H_{ex}$  и выходе  $H_{вых}$  определяют с учетом уклона трубы, ее длины и строительного подъема.

$$H_{ex} = H_0 - f + i_{mp} L_{фв}; \quad (8.5)$$

$$H_{вых} = H_0 - f - i_{mp} L_{фн}, \quad (8.6)$$

где  $i_{mp}$  – уклон трубы;

$L_{фв}$ ,  $L_{фн}$  – длины отрезков трубы с верхней и нижней сторон соответственно, м.

$$L_{фв} = 0,5L_{ф} / (1 + mi_{mp}); \quad (8.7)$$

$$L_{фн} = 0,5L_{ф} / (1 - mi_{mp}), \quad (8.8)$$

где  $m$  – коэффициент заложения откоса насыпи.

Отметка дна трубы у входа должна быть больше отметки в ее средней части еще до проявления осадок основания. Если при расчете это не выполняется, следует немного увеличить уклон трубы.

## 9 Укрепление русел и откосов насыпей у труб

У водопропускной трубы должны быть укреплены входное и выходное русла и откосы насыпей.

Типовым проектом рекомендуется несколько типов укреплений:

- бетонными плитами размером  $49 \times 49 \times 10$  см (блоки П-1);
- бетонными плитами размером  $40 \times 15 \times 10$  см (блоки П-2);
- монолитным бетоном, армированным металлической сеткой;
- одиночным мощением, камнем.

Тип укрепления назначается по таблице 9.1 исходя из расчетной скорости протекания воды  $V_P$ , которая не должна превышать допускаемую скорость на укреплении.

При выборе типа укрепления выходного русла расчетную скорость воды  $V_P$  в соответствии с [2] принимают в 1,2 раза больше скорости в выходном сечении трубы  $V_{вых}$ .

Тип укрепления входного русла выбирают по скорости воды в трубе. Длину входного укрепления назначают конструктивно, обычно принимая ее равной  $0,4L_{укр}$ .

Основные параметры укреплений показаны на рисунке 9.1, на котором приняты следующие обозначения:

$T$  – глубина размыва в конце укрепления при каменной наброске в ковше;

$T_k$  – высота каменной наброски в ковше размыва;

$L$  – длина плоской части выходного укрепления, считая от конца оголовка;

$a$  – длина входного укрепления, считая до начала оголовка;

$B$  – ширина предохранительного откоса;

$B_p$  – ширина в конце раструба оголовка;

$D$  – ширина в начале укрепления выходного русла;

$M_2$  – ширина верха укрепления откоса насыпи у выходного русла;

$M_1$  – ширина верха укрепления откоса насыпи у входного русла;

$N_1$  – ширина укрепления входного русла;

$N_z$  – ширина в конце укрепления выходного русла,

$$N_z = B_{расст} + 3, \quad (9.1)$$

где  $B_{расст}$  – ширина растекания потока.

Расположение водопропускной трубы без оголовков и укрепление русел и откосов насыпи представлено на рисунке 9.2.

Таблица 9.1 – Типы укреплений и допускаемые скорости течения воды на них

Тип укрепления	Допускаемая скорость при средней глубине потока, м			
	0,4	1,0	2,0	3,0
Одиночное мощение на слое щебня толщиной не менее 10 см из камня:				
размером 15 см	2,5	3,0	3,5	4,0
размером 20 см	3,0	3,5	4,0	4,5
размером 25 см	3,5	4,0	4,5	5,0
Одиночное мощение на цементном растворе М-200 по слою щебня толщиной 10 см из камня:				
размером 15 см	3,1	3,7	4,4	5,0
размером 20 см	3,7	4,4	5,0	5,6
размером 25 см	4,4	5,0	5,6	6,2
Бетонные плиты П-1, П-2 на слое щебня толщиной 10 см	3,0	3,5	4,0	4,5
Монолитный бетон М-200 толщиной 12 см с арматурной сеткой на слое щебня толщиной 10 см	6,0	6,5	7,0	7,5
<i>Примечание</i> – Более подробные сведения приведены в типовом проекте [6]				

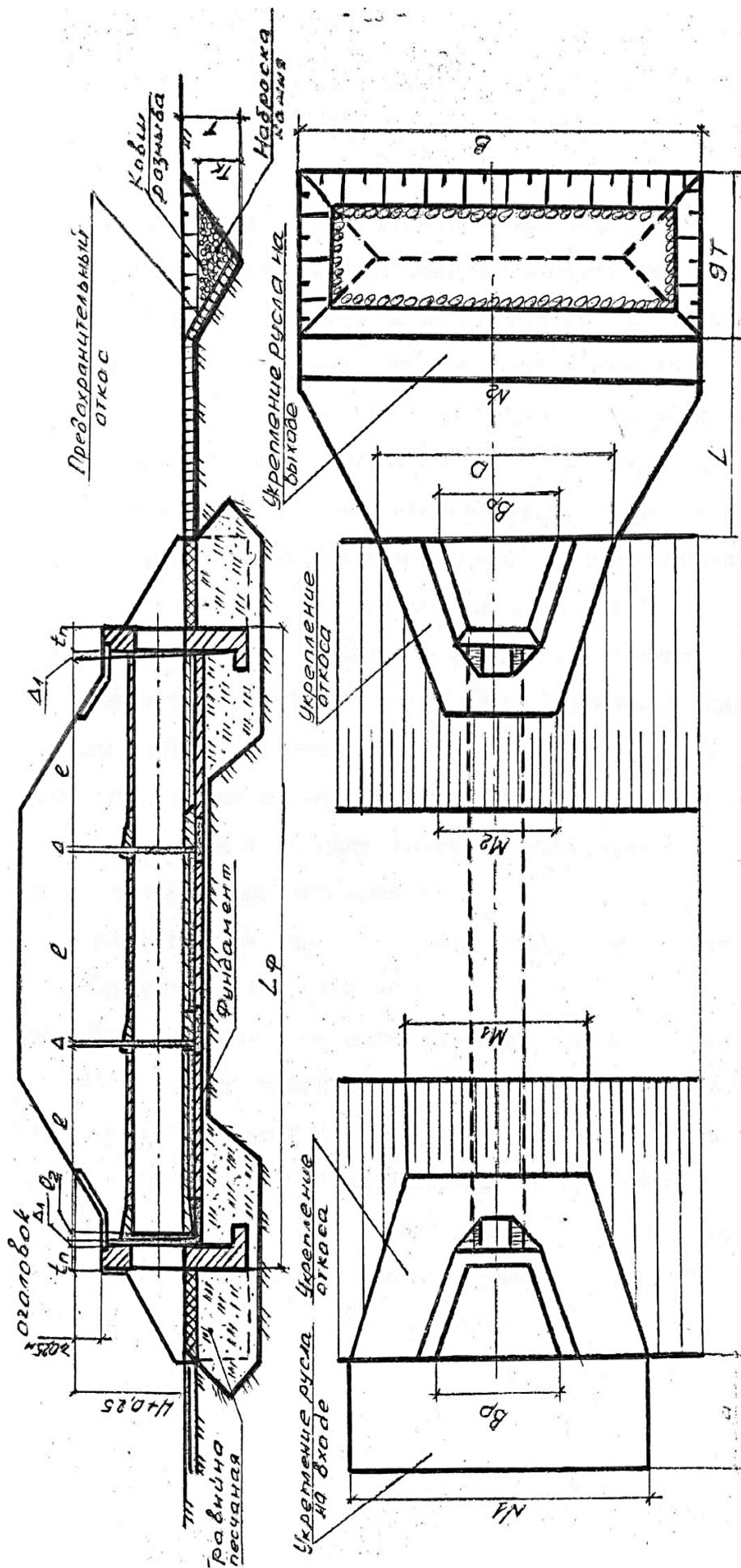


Рисунок 9.1 – Расположение водопропускной трубы с оголовками и укрепление русел и откосов насыпи

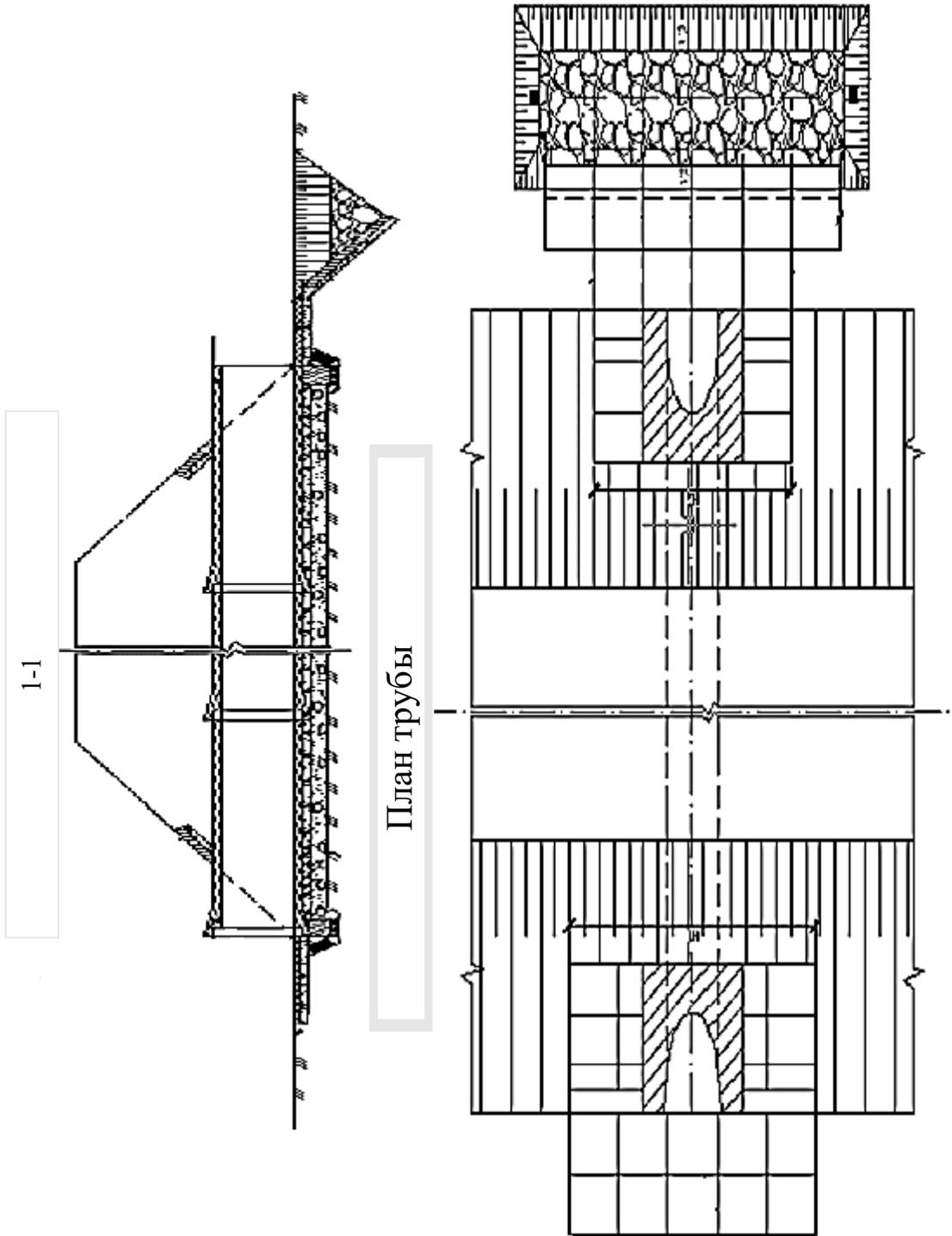


Рисунок 9.2 – Расположение водопропускной трубы без оголовков и укрепление русел и откосов насыпи

При небольших расходах значения приведены в таблице 9.2, каменная наброска в ковше размыва не требуется.

Таблица 9.2 – Значение переходных коэффициентов

Труба	Параметры укрепления			
	$L$	$T$	$B$	$B_{расч}$
Двухочковая	1,40	1,26	1,17	1,80
Трехочковая	1,70	1,41	1,20	2,40

Наибольшие расходы, при которых не требуется каменная наброска в ковше размыва, даны в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Наибольшие расходы, при которых не требуется каменная наброска в ковше размыва

Отверстие трубы, м	Несвязный грунт		Связный грунт	
	$d_{cp} = 0,3$ мм	$d_{cp} = 1,0$ мм	$c = 0,5$ т/м <sup>2</sup>	$c = 0,5$ т/м <sup>2</sup>
1,00	0,5	0,9	0,9	1,1
1,25	0,7	0,9	0,9	1,1
1,50	–	–	–	1,7
2,00	–	–	–	2,0

*Примечание* –  $d_{cp}$  – средний расчетный диаметр частиц грунта;  $c$  – расчетное сцепление грунта

## Список литературы

1 **ТКП 45-3.03-112–2008.** Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2021. – 87 с.

2 **СН 3.03.04–2019.** Автомобильные дороги. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 55 с.

3 **Парахневич, В. Т.** Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков: учебное пособие / В. Т. Парахневич. – Минск: Новое знание, 2016. – 368 с.

4 **Шведовский, П. В.** Изыскания и проектирование автомобильных дорог: учебное пособие: в 2 ч. Ч. 1: План, земляное полотно / П. В. Шведовский, В. В. Лукша, Н. В. Чумичева. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2016. – 445 с.

5 **ТП 3.54–59.** Сборные водопропускные трубы для автомобильных дорог. Круглые трубы. Ч. 1 : Конструкция труб. – Ленинград : Интрансдорнаука, 1969. – 42 с.