

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

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

Часть 2



Могилев 2019

УДК 625.72
ББК 39.311
И 79

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «28» марта 2019 г.,
протокол № 8

Составители: А. М. Сергеева; О. И. Бродова;
В. Т. Парахневич; Ю. Н. Лебедева;
Е. А. Шаройкина

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

В методических рекомендациях рассматриваются вопросы расчета конструкции нежесткой дорожной одежды по прочности, проектирования пересечений автомобильных дорог линиями ВЛ и СС, проектирования автомобильных дорог на слабом основании.

Учебно-методическое издание

ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Часть 2

Ответственный за выпуск	В. В. Кутузов
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

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, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2019



Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Расчет транспортной нагрузки	5
2 Практическая работа № 2. Определение прочности дорожной одежды (расчет на упругий прогиб).....	9
3 Практическая работ № 3. Определение прочности дорожной одежды (расчет на сдвигоустойчивость и предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе).....	12
4 Практическая работа № 4. Определение водосбора. Расчет труб.....	19
5 Практическая работа № 5. Расчет уровня повреждаемости нежестких дорожных одежд.....	23
6 Практическая работа № 6. Расчет жестких дорожных одежд.....	32
7 Практическая работа № 7. Пересечение автомобильных дорог линиями ВЛ и СС	36
8 Практическая работа № 8. Проектирование автомобильных дорог на слабом основании	39
Список литературы	43



Введение

Целью учебной дисциплины «Изыскание и проектирование автомобильных дорог» является формирование у студентов знаний о методах проектирования и изысканий автомобильных дорог с учетом народно-хозяйственного значения этих сооружений, природных условий, требований эффективной и безопасной эксплуатации автомобильного транспорта.

Задачей учебной дисциплины является изучение основ расчета при проектирования конструктивных элементов автомобильных дорог, выбор категории дороги с ее техническими показателями.

Цель практических занятий заключается в формировании знаний, умений и навыков, необходимых в области проектирования автомобильных дорог, в частности: расчет транспортной нагрузки; определение прочности дорожной одежды; определение водосбора и расчет труб; расчет уровня повреждаемости нежестких дорожных одежд; расчет жестких дорожных одежд; пересечение автомобильных дорог линиями ВЛ (воздушные линии) и ЛС (линии связи); проектирование автомобильных дорог на слабом основании.

Практические занятия обеспечивают подготовку студентов к инженерной деятельности в области проектирования автомобильных дорог.

Отчеты по практическим работам оформляются в рабочих тетрадях и содержат расчеты по темам, а также чертежи и пояснительные рисунки.



1 Практическая работа № 1. Расчет транспортной нагрузки

При проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля, которые представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – 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	0,37/0,33
A ₂	57,5		0,39/0,37
A ₃	65,0		0,41/0,39

Примечание – В числителе приведены значения для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного колеса. 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 – перспективную (на конец срока службы) общую среднесуточную интенсивность движения;

2) N_p – приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки);

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

Перспективную общую среднесуточную интенсивность движения устанавливают по данным анализа закономерностей изменения объема перевозок и интенсивности движения при проведении титульных экономических обследований.

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p , авт./сут, определяют по формуле

$$N_p = f_{пол} \cdot \sum_{m=1}^n N_m S_{тсум}, \quad (1.1)$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (таблица 1.2);

n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока, шт.;

N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m -й марки;



$S_{\text{сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m -й марки к расчетной нагрузке $Q_{\text{расч}}$, определяемый по [1, приложение В].

Таблица 1.2 – Значение коэффициента $f_{\text{пол}}$, учитывающего число полос движения и распределение движения по ним

Число полос движения	Значение коэффициента $f_{\text{пол}}$ для полосы		
	1	2	3
1	1,00	–	–
2	0,55	–	–
3	0,50	0,30	–
4	0,35	0,20	–
6	0,30	0,20	0,05

Допускается принимать суммарный коэффициент приведения $S_{\text{сум}}$ по данным таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Значения суммарных коэффициентов приведения $S_{\text{сум}}$ для различных транспортных средств

Вид транспортного средства	Коэффициент приведения $S_{\text{сум}}$ к расчетной нагрузке		
	$K_{\text{пр}} (A_1)$	$K_{\text{пр}} (A_2)$	$K_{\text{пр}} (A_3)$
1	2	3	4
1 Легковой автомобиль	0,002	0,0015	0,0012
2 Микроавтобус	0,0037	0,0027	0,002
3 Грузовые автомобили			
3.1 Легкие (грузоподъемность 2...5 т)	0,20	0,10	0,05
3.2 Средние (грузоподъемность 5...8 т)	0,60	0,30	0,27
3.3 Тяжелые грузовые автомобили			
3.3.1 Задняя ось 10,0 т	1,00	0,87	0,65
3.3.2 Задняя ось 11,5 т	1,35	1,00	0,87
3.3.3 Задняя ось 13,0 т	2,90	1,50	1,00
3.3.4 Тележка 20,0 т	3,60	1,60	1,10
3.3.5 Тележка 26,0 т	4,80	3,50	2,00
4 Автопоезда с полуприцепом			
4.1 Задняя ось тягача 11,5 т	2,50	1,50	0,90
4.2 Задняя ось тягача 13,0 т	4,20	2,50	1,70
4.3 Задняя ось тягача 11,5 т	3,00	1,90	1,10
4.4 Задняя ось тягача 13,0 т	6,20	3,50	2,20
4.5 Задняя ось тягача 11,5 т	7,00	4,10	2,50

Окончание таблицы 1.3

1	2	3	4
4.6 Тележка тягача 18,0 т	3,00	1,90	1,10
4.7 Тележка тягача 20,0 т	5,50	3,50	2,20
4.8 Тележка тягача 20,0 т	7,00	4,00	2,80
5 Автопоезда с прицепом			
5.1 Задняя ось автомобиля 11,5 т	2,50	1,20	0,95
5.2 Задняя ось автомобиля 13,0 т	4,00	2,20	1,30
5.3 Задняя ось автомобиля 11,5 т	3,50	2,00	1,20
5.4 Задняя ось автомобиля 13,0т	6,40	4,00	2,80
5.5 Тележка автомобиля 20,0 т	4,00	2,50	1,70
5.6 Тележка автомобиля 26,0 т	8,10	5,00	3,50
6 Автобусы			
6.1 Задняя ось 11,5 т	1,50	1,00	0,60
6.2 Средняя ось 11,5 т	3,76	1,90	1,20
6.3 Средняя ось 11,5 т	2,00	1,20	0,80

Число накопленных осей за расчетный срок службы $\sum N_p$, шт., определяют по формуле

$$\sum N_p = 0,7 N_p \cdot \frac{K_c}{q^{T_{cl}-1}} T_{pdc} K_n, \quad (1.2)$$

где K_c – коэффициент суммирования [1, приложение Г],

$$K_c = \frac{q^{T_{cl}} - 1}{q - 1}; \quad (1.3)$$

T_{cl} – расчетный срок службы дорожной одежды, принимаемый по [1, таблица 6.5];

q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам;

T_{pdc} – число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости дорожной конструкции, определяется по [1, приложение Г];

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого (таблица 1.4).

Пример – Рассчитать число накопленных осей за расчетный срок службы по следующим исходным данным: IV категория автомобильной дороги, нагрузка на ось A_2 , тип дорожной одежды облегченный, $T_{cl} = 8$ лет, $q = 1,04$, район проектирования Могилевский, число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m -й марки N_m : легковые автомобили – 450, автопоезда с



полуприцепом (задняя ось тягача 13 т) – 10, тяжелые грузовые автомобили (задняя ось 10 т) – 150, автопоезда с прицепом (задняя ось автомобиля 11,5 т) – 20, микроавтобусы – 130, грузовые автомобили средние – 25.

Таблица 1.4 – Значение коэффициента K_n , учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента K_n при категориях дорог				
	I	II	III	IV	V, VI
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный, низший	–	–	1,19	1,16	1,04

Решение

$$N_p = 0,55 \cdot (450 \cdot 0,0015 + 10 \cdot 2,5 + 150 \cdot 0,87 + \\ + 20 \cdot 1,2 + 130 \cdot 0,0027 + 25 \cdot 0,3) = 104 \text{ авт./сут};$$

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 104 \cdot \frac{9,2}{1,04^{(8-1)}} \cdot 125 \cdot 1,26 = 79915 \text{ шт.}$$

В таблице 1.5 представлены варианты для расчета числа накопленных осей за расчетный срок службы

Таблица 1.5 – Варианты для расчета

Вариант	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25
Район проектирования	Полоцкий	Лидский	Слуцкий	Оршанский	Пинский
Число проездов в сутки N_m :					
легковой автомобиль	400	500	480	530	460
микроавтобус	180	170	150	100	200
грузовые автомобили	50	45	60	35	40
тяжелые грузовые автомобили (тележка 20,0 т)	100	80	110	75	120
автопоезда с полуприцепом (задняя ось тягача 13,0 т)	10	15	25	30	20
автопоезда с прицепом (задняя ось автомобиля 13,0 т)	35	20	15	25	30
автобусы (средняя ось 11,5 т)	20	15	17	10	18
Прирост интенсивности	3	4	5	6	4



2 Практическая работа № 2. Определение прочности дорожной одежды (расчет на упругий прогиб)

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

$$K_{np}^{mp} \leq \frac{E_{общ}}{E_{mp}}, \quad (2.1)$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого коэффициента надежности по [1, таблицы 6.1–6.4];

$E_{общ}$ – 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 $\sum N_p > 4 \cdot 10^4$ шт. вычисляют по формуле

$$E_{mp} = 98,65 \cdot [\lg(\sum N_p) - c], \quad (2.2)$$

где $\sum N_p$ – число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды (см. формулу (1.2));

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

Независимо от результата расчета по формуле (2.2), требуемый модуль упругости дорожной конструкции E_{mp} должен быть не менее указанного в [1, таблица 6.10]. Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции E_{mp} , МПа, при $\sum N_p < 4 \cdot 10^4$ шт. определяют по [1, таблица 6.10].

Общий расчетный модуль упругости дорожной конструкции $E_{общ}$, МПа, определяют по номограмме [1, рисунок 6.2].

Расчетные значения модулей упругости грунтов и дорожно-строительных материалов принимают по [1, приложения А и Б]. Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре 10 °С.

Расчет на сопротивление упругому прогибу (по требуемому модулю упругости) ведут в следующей последовательности.

1 Определяют значение коэффициента прочности K_{np}^{mp} по [1, таблицы 6.1–6.4].

2 По числу накопленных осей за расчетный срок службы на одну полосу с учетом типа дорожной одежды по формуле (2.2) назначают требуемый модуль упругости дорожной одежды E_{mp} , МПа, и сравнивают со значениями [1, таблица 6.10].



3 Предварительно назначают толщину слоев дорожной одежды.

4 Модуль упругости грунта активной зоны земляного полотна и материалов слоев назначают по [1, приложения А и Б], после чего по номограмме [1, рисунок 6.2], выполняя расчет сверху вниз, находят модуль упругости на поверхности основания.

При невыполнении условия (2.1) изменяем толщины слоев дорожной одежды и опять производим расчет. Расчет ведем до тех пор, пока условие (2.1) будет соблюдаться.

Общую толщину верхних слоев дорожной одежды (в том числе укрепленного основания) из материалов, содержащих органическое вяжущее, ориентировочно назначают в зависимости от требуемого модуля упругости по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения толщин слоев, содержащих органическое вяжущее

Требуемый модуль упругости E_{mp} , МПа	До 125 включ.	Св. 125 до 180 включ.	Св. 180 до 220 включ.	Св. 220 до 250 включ.	Св. 250
Толщина слоев, м	0,04...0,06	0,07...0,12	0,13...0,18	0,19...0,24	Св. 0,25

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 1.1). 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 накопительных осей $\sum N_p = 79915$ шт.

Решение

По номограмме [1, рисунок 6.2] находим:

$$1) \frac{h}{D} = \frac{0,50}{0,39} = 1,28; \frac{E_{cp}}{E_4} = \frac{60}{120} = 0,5; E_{общ}^{***} = 96 \text{ МПа};$$

$$2) \frac{h}{D} = \frac{0,30}{0,39} = 0,77; \frac{E_{общ}^{***}}{E_3} = \frac{96}{180} = 0,53; E_{общ}^{**} = 133,2 \text{ МПа};$$

$$3) \frac{h}{D} = \frac{0,08}{0,39} = 0,21; \frac{E_{общ}^{**}}{E_2} = \frac{133,2}{1400} = 0,095; E_{общ}^* = 196 \text{ МПа};$$

$$4) \frac{h}{D} = \frac{0,04}{0,39} = 0,10; \frac{E_{общ}^*}{E_1} = \frac{196}{2640} = 0,074; E_{общ} = 211,2 \text{ МПа}.$$

Результаты расчета представлены в таблице 2.2.



Таблица 2.2 – Расчет дорожной одежды на сопротивление упругому прогибу

Но- мер слоя	Материал	Упругий прогиб E , МПа	h , м	h/D	Общий мо- дуль упру- го- сти, $E_{общ}$, 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	–	–	–

Определяют E_{mp} по формуле (2.1):

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

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.

В таблице 2.3 представлены исходные данные для расчета дорожной одежды на сопротивление упругому прогибу.

Таблица 2.3 – Исходные данные

Вариант	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25
Грунт земля-ного полотна	Суглинок легкий пылеватый	Супесь пылеватая	Супесь крупная легкая	Суглинок легкий непывеватый	Суглинок тяжелый непывеватый
W_p	0,75	0,85	0,8	0,8	0,65
$\sum N_p$	Принимаем из практической работы № 1				
Дренарующий слой	Песок мелкий	Песок средний	Песок крупный	Песок мелкий	Песок крупный



3 Практическая работа № 3. Определение прочности дорожной одежды (расчет на сдвигоустойчивость и предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе)

3.1 Расчет на сдвигоустойчивость

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:

$$K_{np}^{mp} \leq \frac{T_{np}}{T_a}, \quad (3.1)$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды, принимаемый по [1, таблицы 6.1–6.4];

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

$$T_{np} = CK_1K_2, \quad (3.2)$$

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 (таблица 3.1);

K_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды, определяемый по графику (рисунок 3.1).

Таблица 3.1 – Значения коэффициента K_1

Материал вышележащего слоя	Коэффициент K_1
Укрепленный материал	7,0/5,5
Материал, армированный геосеткой	6,5/5,0
Материал, без армирования, песок крупный	6,0/4,5
Песок средней крупности	5,0/4,0
Песок мелкий	4,0/3,0
Песок пылеватый, супеси легкие пылеватые	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»	



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

$$N_{сут} = \sum N_p / (T_{р\delta\epsilon} \cdot T_{сл}), \quad (3.3)$$

где $\sum N_p$ – число накопленных осей за расчетный срок службы (см. формулу (1.2)), шт.;

$T_{р\delta\epsilon}$ – количество расчетных дней в году принимают по [1, приложение Г], сут;

$T_{сл}$ – расчетный срок службы, определяемый по [1, таблица 6.5], лет.

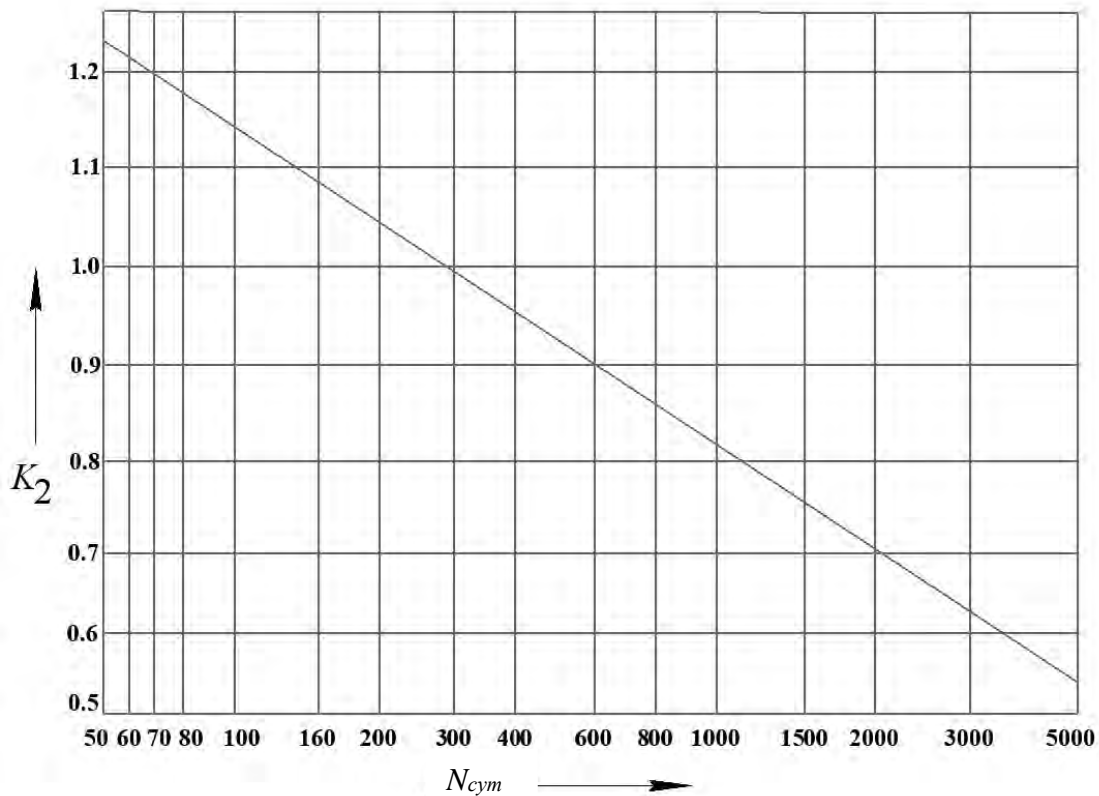


Рисунок 3.1 – Зависимость коэффициента K_2 от количества расчетных нагружений за сутки $N_{сут}$

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

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_\epsilon, \quad (3.4)$$

где $\bar{\tau}_a$ – активное напряжение сдвига от действия единичного нагружения, определяемое по номограммам [1, рисунки 6.4 и 6.5], МПа;

τ_ϵ – активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды, определяемое по номограмме [1, рисунок 6.6], МПа.

При расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслой-

ной 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_e , равной сумме толщин слоев дорожной одежды.

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

$$E_e = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (3.5)$$

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 [1, рисунки 6.4 и 6.5], для определения $\overline{\tau}_a$ величину φ принимают по [1, приложение А].

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 статическое действие нагрузки принимают модули упругости материалов, соответствующие длительности действия нагрузки не менее 600 с, по [1, приложение Б].

Расчет дорожных одежд по критериям сдвига в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожной одежды, ведут в следующей последовательности.

1 По [1, приложение Б] назначают расчетные модули упругости слоев из асфальтобетона при температуре 20 °С. Расчетные прочностные характеристики C и φ грунта земляного полотна и песка подстилающего слоя дорожной одежды (если такой есть) принимают с учетом расчетной влажности по [1, приложение А]. Другие расчетные характеристики грунта и материалов принимают те же, что и в расчете по упругому прогибу.

2 По номограммам [1, рисунки 6.4 и 6.5] определяют активное напряжение сдвига $\overline{\tau}_a$ от одиночного кратковременного нагружения. Для этого приводят многослойную дорожную конструкцию к двухслойной расчетной модели.

3 По формуле (3.2) определяют предельное активное напряжение сдвига T_{np} , возникающее в грунте земляного полотна или в песчаных слоях дорожной одежды.

4 По формуле (3.4) определяют расчетное активное напряжение сдвига T_a , возникающее в грунте земляного полотна.

5 По (3.1) проверяют выполнение условия прочности.

6 При необходимости, изменяя толщину конструктивных слоев, подбирают конструкцию, которая отвечает условию (3.1).



Пример – Выполнить расчет сдвигоустойчивости 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 1.1). 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 накопительных осей $\sum N_p = 79915$ шт.

Решение

Средневзвешенный модуль пакета слоев рассчитывают по формуле (3.5):

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

Далее определяют отношения:

$$\frac{E_e}{E_{zp}} = \frac{250,87}{60} = 4,18; \quad \frac{h_{\text{общ}}}{D} = \frac{0,92}{0,39} = 2,36 \text{ при } \varphi = 34^\circ.$$

По [1, рисунок 6.5] находят удельное напряжение сдвига $\overline{\tau}_a = 0,0094$ МПа и по [1, рисунок 6.6] – активное напряжение от веса одежды $\tau_e = -0,0051$ МПа.

Тогда по формуле (3.4) находят $T_a = 0,0094 \cdot 0,6 - 0,0051 = 0,00054$.

Чтобы найти коэффициент K_2 по формуле (3.3) вычисляют $N_{\text{сут}}$:

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

По формуле (3.2) рассчитывают $T_{np} = 0,011 \cdot 1,5 \cdot 1,17 = 0,019$ МПа.

По (3.1) проверяют выполнение условия прочности:

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

Таким образом, условие выполняется.

В таблице 3.2 представлены варианты для расчета сдвигоустойчивости дорожной одежды



Таблица 3.2 – Исходные данные

Вариант	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25
Расчет на сдвигоустойчивость	Дополнительного слоя основания из мелкого песка	Слоя основания из песчано-гравийной смеси	Дополнительного слоя основания из крупного песка	Грунта земляного полотна	Грунта земляного полотна

3.2 Расчет на предельно допустимые растягивающие напряжения 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

$$(3.6) \quad K_{np}^{mp} \leq R_{дон} / \sigma_r,$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды с учетом заданного коэффициента надежности, принимаемый по [1, таблицы 6.1–6.4];

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

σ_r – полное растягивающее напряжение при изгибе, определяемое расчетом, МПа.

Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r в монолитном слое вычисляют с помощью номограмм.

В практике проектирования дорожных одежд встречается 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, или разного рода монолитные основания.

Однослойные монолитные покрытия рассчитывают на напряжение при изгибе с помощью номограммы [1, рисунок 6.7].

Номограмма связывает относительную толщину покрытия h_1/D (горизонтальная ось) и отношение модуля упругости материала покрытия к общему модулю на поверхности основания $E_i/E_{общ.осн}$ (кривые на номограмме) с максимальным напряжением на растяжение при изгибе $\bar{\sigma}_r$ в материале покрытия от местного нагружения, равного 1 МПа (вертикальная ось). Значение диаметра D принимают по таблице 1.1. Модуль упругости материала покрытия принимают в соответствии с [1, приложение Б]. 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 (3.5), а рассчитывать – на выполнение условия (3.6) в нижнем слое асфальтобетонного основания, если он обладает наименьшей прочностью на растяжение при изгибе. Для монолитных слоев рассчитывается только один нижний слой.

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

$$R_{дон} = R_u \cdot (1 - 0,1t) \cdot K_m \cdot K_{кн} \cdot K_m, \quad (3.7)$$

где R_u – прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе с учетом повторности действия напряжений, принимаемая согласно [1, приложение Б], МПа;

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по [1, таблица 6.13];

K_m – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона во времени от действия природно-климатических факторов, принимаемый по [1, таблица 6.14];

K_m – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона в конструкции в результате температурных воздействий, принимаемый по [1, таблица 6.14];

$K_{кн}$ – коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу?

$$K_{кн} = \alpha \cdot \sum N_p^{-(1/m)}, \quad (3.8)$$

где α – коэффициент, учитывающий повторность нагружения в нерасчетный период года, принимаемый по [1, приложение Б];

m – показатель усталости материала, принимаемый по [1, приложение Б];

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

Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r , МПа, определяют по формуле

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \cdot p \cdot K_6, \quad (3.9)$$

где $\overline{\sigma_r}$ – растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, МПа;

K_6 – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия под колесом автомобиля со спаренными баллонами ($K_6 = 0,85$) и однобаллонными колесами ($K_6 = 1,0$).

Расчет покрытия и его эквивалентного монолитного слоя на изгиб осуществляют в следующей последовательности.



1 Вычисляют h_1/D при однослойном покрытии или $\sum h_i/D$ (асфальтобетонное покрытие на асфальтобетонном основании) и по формуле (3.5) рассчитывают средний модуль упругости асфальтобетонных слоев.

2 Общий модуль упругости $E_{общ.осн}$ на поверхности основания, подстилающего асфальтобетон, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости $E_{общ}$, определяемому путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев по [1, рисунок 6.2].

3 По отношениям $E_i/E_{общ.осн}$ основания и h_1/D определяют растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в рассматриваемом слое от разового нагружения по [1, рисунок 6.7]. Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r определяют по формуле (3.9).

4 Вычисляют допустимые растягивающие напряжения $R_{дон}$ по формуле (3.7). Далее вычисляют соотношение $R_{дон}/\sigma_r$, и если оно больше или равно K_{np}^{mp} , то конструкцию считают соответствующей требованиям сопротивления усталостному разрушению при растяжении при изгибе. В противном случае необходимо откорректировать толщину слоев и повторить расчет.

Пример – Выполнить расчет на предельно допустимые растягивающие напряжения 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 1.1). 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 накопительных осей $\sum N_p = 79915$ шт.

Решение

Средневзвешенный модуль пакета слоев, рассчитывают по формуле (3.5):

$$E_e = \frac{4140 \cdot 0,04 + 2200 \cdot 0,08}{0,04 + 0,08} = 2846,7 \text{ МПа.}$$

Далее определяют отношения:

$$\frac{E_e}{E_{сп}} = \frac{2846,7}{133,2} = 21,4; \quad \frac{h_{общ}}{D} = \frac{0,12}{0,39} = 0,31 \text{ при } \varphi = 34^\circ.$$

По [1, рисунок 6.7] находят растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r = 2,6$ МПа. Тогда по формуле (3.9) вычисляют σ_r :

$$\sigma_r = 0,6 \cdot 2,6 \cdot 1 = 1,56 \text{ МПа.}$$

Предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона $R_{дон}$, МПа, определяют по формуле (3.7):



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

$K_{\text{кн}}$ находят по формуле (3.8):

$$K_{\text{кн}} = 8,6 \cdot 79915^{-\frac{1}{4}} = 0,51;$$

$$R_{\text{дон}} = 7,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,32) \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,51 = 2,64.$$

Проверяют выполнение условия (3.6):

$$0,94 \leq \frac{2,64}{1,56} = 1,69.$$

Таким образом, условие выполняется.

В качестве исходных принять данные практической работы № 2.

4 Практическая работа № 4. Определение водосбора. Расчет труб

Водопропускные трубы являются наиболее распространенными инженерными сооружениями на автомобильных дорогах. Их назначение – пропуск расходов воды, образующихся от дождевых осадков или таяния снега. Расходы формируются на водосборной площади, которая собирает воду к конкретному створу. Створом является дорога, которая пересекает пониженный участок местности (рельефа). Размеры водосборной площади определяются по топографическим картам, основное требование к которым – наличие горизонталей. Водосборная площадь охватывается водораздельной линией, которая является границей между соседними водосборами.

Водораздельная линия начинается от конечного створа (автомобильная дорога) и проходит по наивысшим точкам рельефа. Как правило, это изгибы горизонталей. Вода от этой линии стекает в одну и другую сторонам соседних водосборов.

Основными размерами водопропускных труб являются их диаметр D и длина l . Диаметр определяет поперечное сечение трубы, ее пропускную способность. Длина трубы обеспечивает пропуск воды на всем протяжении основания насыпи автомобильной дороги.

Определение диаметра водопропускной трубы

Величина расхода, на которую рассчитывается труба, формируется в результате выпадения дождя или таяния снега.

Максимальный расчетный расход для ливневых вод определяется по формуле

$$Q_p = 0,56 \cdot \alpha_{1p} \cdot J_o^{0,3} \cdot F \cdot \delta \cdot \lambda, \quad (4.1)$$

где α_{1p} – расчетная интенсивность водоотдачи при общем уклоне лога $J_o = 1 \text{ ‰}$;
 J_o – общий уклон лога, ‰;
 F – площадь водосбора, км²;
 δ – коэффициент снижения расхода на залесенность и заболоченность водосбора;
 λ – переходной коэффициент, зависящий от вероятности превышения паводка, $\lambda = 1$ при ВП = 1 ‰; $\lambda = 0,85$ при ВП = 2 ‰; $\lambda = 0,77$ при ВП = 3 ‰.

$$\alpha_{1p} = K / (F + 0,15)^{0,43}, \quad (4.2)$$

где K – поправочный коэффициент, величина которого зависит от рельефа (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Зависимость коэффициента K от уклона лога

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

Величина коэффициента δ рассчитывается по формуле

$$\delta = 1 - 0,8 \cdot f_l - f_{бол} - f_{оз}, \quad (4.3)$$

где f_l , $f_{бол}$, $f_{оз}$ – относительные (в долях от площади водосбора) значения лесистости, заболоченности и озерности водосбора.

Залесенность не учитывается для водосборов, сложенных легкодренирующими грунтами (пески, легкие супеси).

Максимальный расчетный расход от талых вод определяется по формуле

$$Q_p = \frac{0,56 h_n \cdot F}{(1 + \alpha) \cdot \gamma \cdot t_n} \cdot \delta_l \cdot \delta_o \cdot \lambda, \quad (4.4)$$

где F – площадь водосбора, км²;

h_n – слой стока, мм, в фазе подъема половодья расчетной вероятности 1 ‰ (таблица 4.2);

α – коэффициент формы гидрографа (таблица 4.3);

γ – коэффициент полноты гидрографа (см. таблицу 4.3);

t_n – продолжительность подъема половодья в сутки максимального снеготаяния, ч; является суммой из времени продолжительности водоотдачи на склоны t_c (см. таблицу 4.3) и продолжительности стекания по логу t_l ;

λ – коэффициент перехода вероятности превышения от 1 ‰ к заданной ($\lambda = 1$ при ВП = 1 ‰ ; $\lambda = 0,87$ при ВП = 2 ‰ ; $\lambda = 0,81$ при ВП = 3 ‰);



δ_l – коэффициент, учитывающий снижение расхода залесенностью (таблица 4.4);

δ_b – коэффициент, учитывающий снижение расхода заболоченностью (см. таблицу 4.4).

$$t_l = \frac{1,85L}{Q_3^{1/4} \cdot J_o^{1/3}}, \quad (4.5)$$

где L – длина лога от самой удаленной точки водораздела до расчетного створа, км;

Q_3 – предварительно заданный расход, м³/с;

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

Таблица 4.2 – Значение слоя стока в зависимости от грунтов и региона

Регион	Слой h_n , мм		
	Пески	Супеси	Суглинки, глины
Бобруйск, Быхов, Краснополье, Осиповичи	12	15	18
Шклов, Чаусы, Чериков, Костюковичи, Климовичи, Мстиславль, Могилев	14	18	20

Таблица 4.3 – Зависимость коэффициентов α , γ , t_c от региона

Регион	α	γ	t_c , ч
Могилевская область	0,15	0,79	4

Таблица 4.4 – Значение коэффициентов δ_l и δ_b

f_l и f_b , %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
<i>Значение коэффициента δ_l</i>												
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
δ_b	–	0,92	0,85	0,79	0,74	0,71	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53	
<i>Примечание – f_l и f_b – собственная лесистость и заболоченность водосбора</i>												

Залесенность для Могилевской области можно принять $F_l = 0,35$.

Расчет максимального расхода от талых вод проводится в следующем порядке.

1 По таблице 4.2 находят величину h_n .



2 По таблицам 4.3 и 4.4 определяются коэффициенты α , γ , δ_l , δ_b .

3 Принимая $Q_3 = F$, определяют t_l , а затем $t_n = t_c + t_l$.

4 Вычисляем Q_p . Если Q_p отличается от Q_3 более чем на 5 %, расчет повторяется, приняв $Q_3 = Q_p$.

Диаметр водопропускной трубы определяется по максимальному из найденных расходов для ливневых или талых вод. При этом принимают безнапорный режим движения потока в трубе. Это происходит при

$$h_{BB} \leq 1,2D, \quad (4.6)$$

где h_{BB} – глубина потока в верхнем бьефе (в подводящем русле), м;

D – внутренний диаметр водопропускной трубы, м.

Величина диаметра рассчитывается из основной формулы водослива

$$D = Q / m \sqrt{2g \cdot H_0^{3/2}}, \quad (4.7)$$

где Q – расчетный расход, м³/с;

m – коэффициент расхода (зависит от типа входного оголовка);

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81$ м/с²;

H_0 – напор с учетом скорости подхода.

Водопропускная труба должна обеспечить пропуск расчетного паводка под автомобильной дорогой; устраивается у ее основания перпендикулярно оси дороги. Поэтому длина трубы L_m зависит от ширины насыпи по верху B_n , ее высоты H_n и коэффициента заложения откосов m . Кроме этого при наличии оголовков необходимо учитывать их длину.

При высоте насыпи менее 6 м ($H_n \leq 6$ м) длина безоголовочной трубы

$$L_T = B_n + 2m \cdot H_n. \quad (4.8)$$

При высоте насыпи более 6 м ($H_n > 6$ м) длина трубы

$$L_T = B_n + 2m \cdot H_n + 2(m + 0,25) \cdot (H_n - 6). \quad (4.9)$$

При наличии оголовков длина трубы

$$L_T = B_n + 2m \cdot H_n - 2m \cdot H_0 + 2p, \quad (4.10)$$

где p – ширина площадки над оголовками трубы, включая и ширину порталной стенки, $p = 0,8$ м;

H_0 – высота портала, $H_0 \approx D + 0,5$ м.

В качестве исходных, принять данные представленные в таблице 4.5.



Таблица 4.5 – Исходные данные

Площадь водосбора, км ²	20 + N
Уклон лога, ‰	10 + N
<i>Примечание</i> – N – номер студента по списку в журнале группы	

5 Практическая работа № 5. Расчет уровня повреждаемости нежестких дорожных одежд

При расчете на прочность дорожных одежд капитального типа для группы нагрузок A_3 необходимо обеспечить устойчивость асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов.

Условие устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов имеет вид

$$\psi \leq DP, \quad (5.1)$$

где ψ – фактический уровень повреждаемости материала покрытия от совместного воздействия транспортной нагрузки и природно-климатических факторов;

DP – процент дефектности существующей дорожной одежды по [3].

Для определения фактического уровня повреждаемости материала покрытия необходимы следующие исходные данные:

- число накопленных осей за расчетный срок службы $\sum N_p$, шт., вычисляемый по [1, формула (6.3)], принимая $T_{pдг} = 365$ сут;
- растягивающие напряжения в слое покрытия σ_r , МПа;
- прочность материала на растяжение при изгибе R_u , МПа;
- предельная структурная прочность материала R_c , МПа [4];
- расчетный срок службы дорожной конструкции $T_{сл}$, лет.

Расчетная осевая нагрузка принимается равной нагрузке, на основании которой производился расчет на упругий прогиб.

Для вычисления растягивающих напряжений в асфальтобетонных слоях дорожной одежды пользуются номограммами, представленными на рисунках 5.1 и 5.2. Расчетная температура – 0 °С. Характеристики материалов принимают по [1, приложение Б].

Для расчетов принимают модули:

- для верхнего слоя – средневзвешенный, определенный по [1, формула (6.11)];

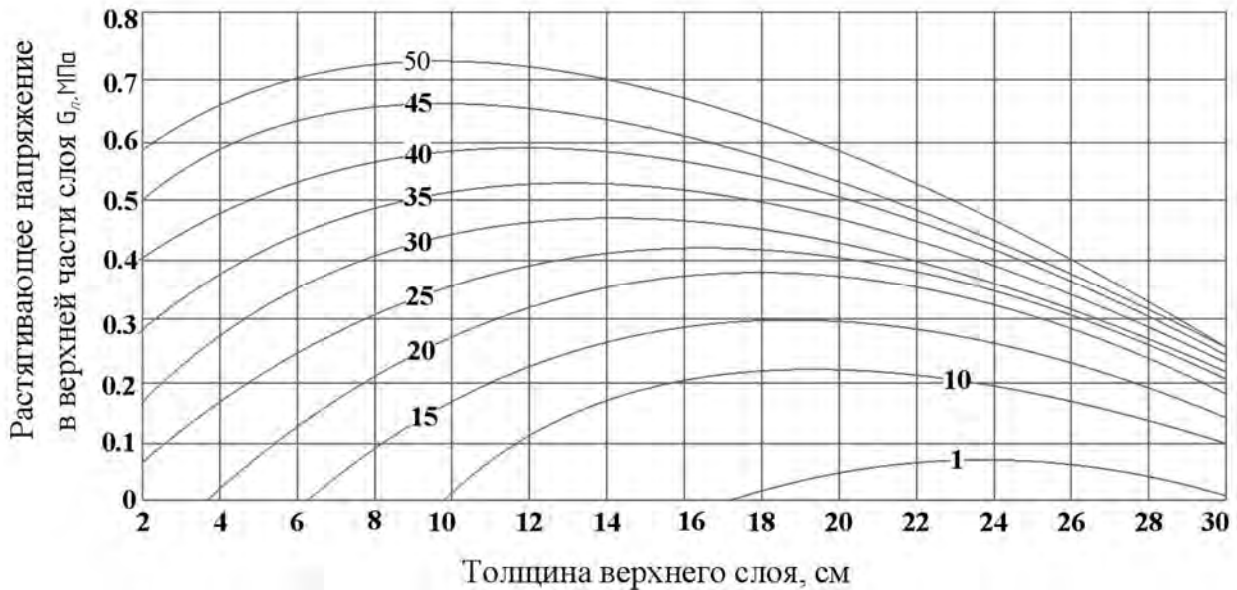
- для нижнего слоя (эквивалентный) – по номограмме (рисунок 5.3).

Расчетные модули материала слоев принимают при температуре 0 °С.

В расчет принимают большее значение растягивающих напряжений.

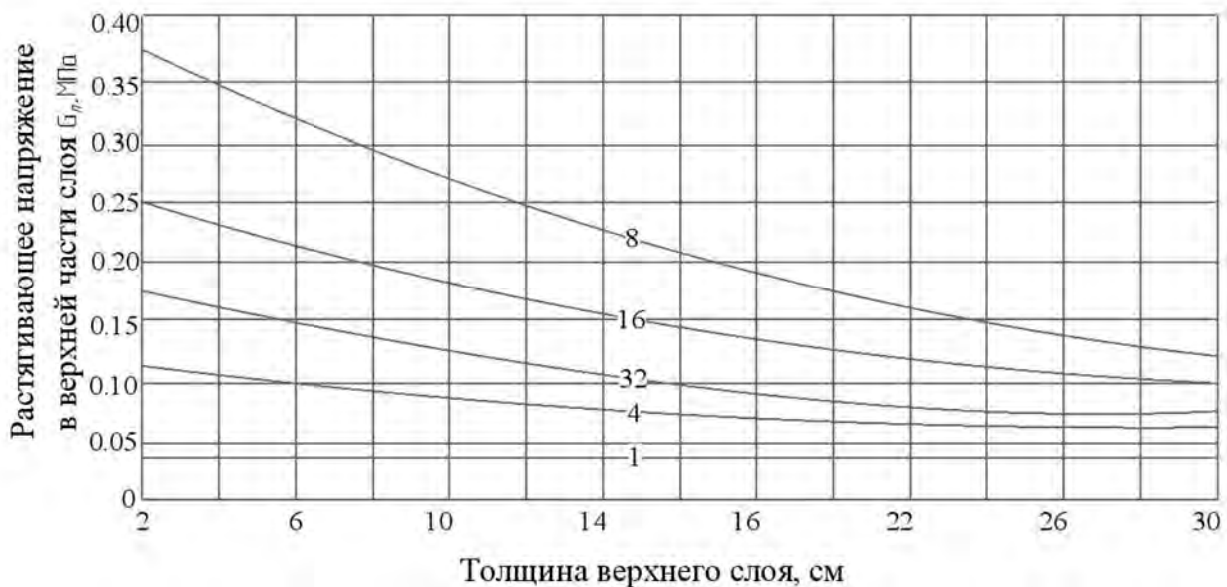


Номограмму, представленную на рисунке 5.1, используют для определения растягивающих напряжений в нижней части слоя.



На кривых – значения отношения модулей упругости верхнего слоя и подстилающего его полупространства

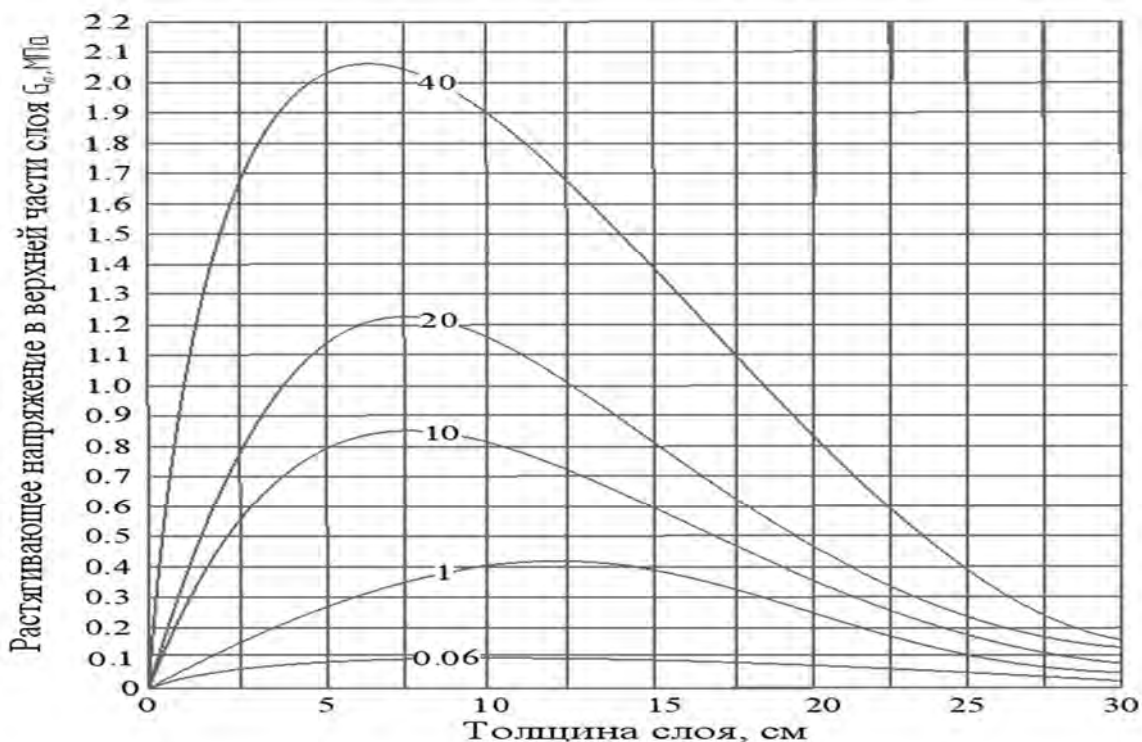
Рисунок 5.1 – Номограмма для определения растягивающих напряжений в нижнем асфальтобетонном слое дорожной одежды



На кривых – значения отношения модулей упругости верхнего и нижнего слоев

Рисунок 5.2 – Номограмма для определения растягивающих напряжений в верхнем асфальтобетонном слое дорожной одежды

Номограмму, представленную на рисунке 5.2, используют для определения растягивающих напряжений в верхней части слоя (для верхнего слоя покрытия).



На кривых – значения отношения модулей упругости верхнего слоя и подстилающего его полупространства

Рисунок 5.3 – Номограмма для определения эквивалентного модуля нижнего асфальтобетонного слоя дорожной одежды

Напряжения, определенные по представленным номограммам, увеличивают в зависимости от группы нагрузок: A_2 – на 1,00; A_3 – на 1,12.

При неизвестном составе и интенсивности транспортного потока суммарную интенсивность за весь расчетный срок службы до капитального ремонта определяют обратным расчетом исходя из требуемого минимального модуля упругости дорожной конструкции E_{mp} по [1, формулы (6.2), (6.3), (6.6)], принимая $T_{pдг} = 365$ сут.

Расчет фактического уровня повреждаемости производят в следующей последовательности.

1 Определяют интенсивность движения $N_{сез}$, шт., по сезонам года по формуле

$$N_{сез} = \sum N_p \cdot \alpha, \quad (5.2)$$

где α – коэффициент, принимаемый в зависимости от поры года (таблица 5.1).

2 Рассчитывают предельное число циклов нагружения $N_{сез}^n$ для каждого сезона по формуле

$$N_{сез}^n = \left(\beta \cdot \frac{R_u}{\sigma_r} \right)^m, \quad (5.3)$$

где β и m – коэффициенты, принимаемые в зависимости от поры года (см. таблицу 5.1).

Таблица 5.1 – Значения коэффициентов α , β и m

Коэффициент	Весна	Лето	Осень	Зима
α	0,1	0,41	0,22	0,27
β	1,0	1,5	1,2	1,6
m	9,0	9,0	9,0	9,0

3 Определяют уровень работоспособности по сезонам по формуле

$$F_{сез} = 1 - \frac{N_{сез}}{N^n}. \quad (5.4)$$

4 Вычисляют приведенный к весеннему периоду уровень работоспособности

$$F_{\Pi} = F_{весна} - \left(1 - \frac{1,2R_u}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{лето}) - \\ - \left(1 - \frac{R_u}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{осень}) - \left(1 - \frac{1,5R_u}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{зима}). \quad (5.5)$$

5 Находят уровень работоспособности от перепадов температур по формуле

$$F_T = 1 - K_{V1} \cdot T_{cl}, \quad (5.6)$$

где K_{V1} – коэффициент,

$$K_{V1} = \left(\frac{R_u \cdot p_{V1}}{R_c}\right)^6; \quad (5.7)$$

$p_{V1} = 0,80$ – для верхнего слоя; $p_{V1} = 0,75$ – для средних слоев; $p_{V1} = 0,70$ – для нижнего слоя.

6 Определяют уровень работоспособности от попеременного замораживания-оттаивания по формуле

$$F_M = 1 - K_{V11} \cdot T_{cl}, \quad (5.8)$$

где K_{V11} – коэффициент,

$$K_{V11} = \frac{R_u \cdot W \cdot p_{V11}}{R_c}; \quad (5.9)$$



W – водонасыщение асфальтобетона слоя по СТБ 1033, %;
 p_{VII} – коэффициент (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Значения коэффициента p_{VII}

Группа нагрузок	p_{VII} в зависимости от $\sum N_p$, шт.		
	до 100 000 вкл.	св. 100 000 до 2 500 000	св. 2 500 000
A_2	0,014	0,013	0,016
A_3	0,016	0,015	0,020
<i>Примечание</i> – Значения приведены для верхнего слоя. Для средних слоев значения уменьшают в 4 раза, для нижних слоев и защитных слоев – в 2,5 раза			

7 Вычисляют уровень повреждаемости от температуры по формуле

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4}. \quad (5.10)$$

8 Находят уровень повреждаемости от попеременного замораживания-оттаивания по формуле

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4}. \quad (5.11)$$

9 Рассчитывают общий приведенный уровень работоспособности:
 – от температурных факторов

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T) \cdot 0,7; \quad (5.12)$$

– от попеременного замораживания-оттаивания

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M) \cdot 0,6; \quad (5.13)$$

10 Определяют общий приведенный уровень работоспособности по формуле

$$F_O = F_{II} - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n). \quad (5.14)$$

11 Рассчитывают общий уровень повреждаемости по формуле

$$\psi_O = 1 - F_O^{3,8(1-F_O)-0,4}. \quad (5.15)$$

Проверяют условие (5.1). Если данное условие не выполняется, увеличивают толщину слоев до его выполнения.

Пример – Выполнить расчет устойчивости монолитных слоев на совместное действие транспортной нагрузки и природно-климатических факторов. Расчетные характеристики материалов конструктивных слоев принять



по [1, приложения Б и Ж]. Число накопленных осей за срок службы 5290000 шт. Конструкция дорожной одежды указана на рисунке 5.4.

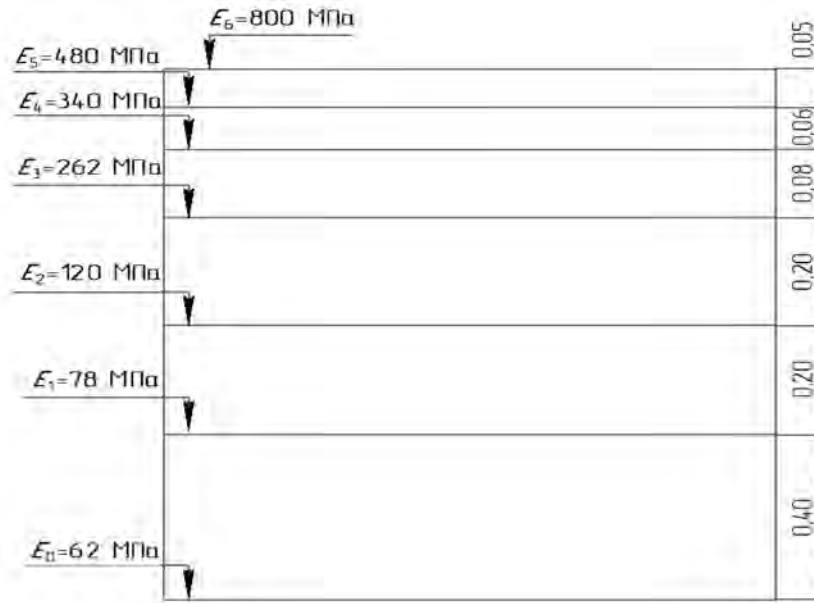


Рисунок 5.4 – Конструкция дорожной одежды

Слой 1 – щебеночно-мастичный асфальтобетон на модифицированном битуме:

- модуль упругости при температуре 0 °С – 5000 МПа;
- предельная структурная прочность – 10 МПа;
- прочность на растяжение при изгибе – 6 МПа.

Слой 2 – крупнозернистый плотный асфальтобетон на битуме БНД 60/90:

- модуль упругости при температуре 0 °С – 3200 МПа;
- предельная структурная прочность – 7,5 МПа;
- прочность на растяжение при изгибе – 5,5 МПа.

Слой 3 – пористый асфальтобетон на битуме БНД 60/90:

- модуль упругости при температуре 0 °С – 2000 МПа;
- предельная структурная прочность – 6,6 МПа;
- прочность на растяжение при изгибе – 4,3 МПа.

Слой 4 – черный щебень: модуль упругости при температуре 0 °С – 900 МПа.

Слой 5 – щебень по способу заклинки: модуль упругости – 300 МПа.

Слой 6 – песок среднезернистый: модуль упругости – 120 МПа.

Грунт земляного полотна – супесь пылеватая: модуль упругости – 52 МПа.

Решение

Определяют растягивающие напряжения в монолитных слоях.

Слой 1

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{5000}{480} = 10,42.$$

Растягивающие напряжения в нижней части слоя (сцепление с нижележащим слоем обеспечено) для толщины слоя $h = 0,05$ м (см. рисунок 5.1) – 0 МПа.

Растягивающие напряжения в верхней части слоя для толщины слоя $h = 0,05$ м (см. рисунок 5.2) – 0,12 МПа.

Слой 2

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(5000 \cdot 0,05 + 3200 \cdot 0,06) / 0,11}{340} = 11,45.$$

Растягивающие напряжения в нижней части слоя (сцепление с нижележащим слоем обеспечено) для общей толщины слоя $5 + 6 = 11$ см (см. рисунок 5.1) – 0,12 МПа.

Слой 3

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(5000 \cdot 0,05 + 3200 \cdot 0,06 + 2000 \cdot 0,08) / 0,19}{252} = 12,58.$$

Растягивающие напряжения в нижней части слоя (сцепление с нижележащим слоем обеспечено) для общей толщины слоя $5 + 6 + 8 = 19$ см (см. рисунок 5.1) – 0,26 МПа. Принимая во внимание повышающий коэффициент 1,12 для нагрузки A_3 , максимальные растягивающие напряжения в монолитных слоях составляют:

- 0,134 МПа (слой 1);
- 0,134 МПа (слой 2);
- 0,291 МПа (слой 3).

Расчет фактического уровня повреждаемости для слоя 1

Интенсивность движения по сезонам года для всех слоев по формуле (5.2):

$$N_{весна} = \sum N_p \cdot \alpha = 5290000 \cdot 0,1 = 529000 \text{ шт.};$$

$$N_{лето} = \sum N_p \cdot \alpha = 5290000 \cdot 0,41 = 2168900 \text{ шт.};$$

$$N_{осень} = \sum N_p \cdot \alpha = 5290000 \cdot 0,22 = 1163800 \text{ шт.};$$

$$N_{зима} = \sum N_p \cdot \alpha = 5290000 \cdot 0,27 = 1428300 \text{ шт.}$$

Предельное число циклов нагружения для каждого сезона по формуле (5.3):

$$N_{весна}^n = \left(\beta \cdot \frac{R_u}{\sigma_r} \right)^m = \left(1 \cdot \frac{6}{0,134} \right)^9 = 7,23 \cdot 10^{14};$$



$$N_{лето}^n = \left(\beta \cdot \frac{R_u}{\sigma_r} \right)^m = \left(1,5 \cdot \frac{6}{0,134} \right)^9 = 2,78 \cdot 10^{16};$$

$$N_{осень}^n = \left(\beta \cdot \frac{R_u}{\sigma_r} \right)^m = \left(1,2 \cdot \frac{6}{0,134} \right)^9 = 3,73 \cdot 10^{15};$$

$$N_{зима}^n = \left(\beta \cdot \frac{R_u}{\sigma_r} \right)^m = \left(1,6 \cdot \frac{6}{0,134} \right)^9 = 4,97 \cdot 10^{16}.$$

Уровень работоспособности по сезонам по формуле (5.4):

$$F_{весна} = 1 - \frac{N_{весна}}{N_{весна}^n} = 1 - \frac{529000}{7,23 \cdot 10^{14}} = 1,0;$$

$$F_{лето} = 1 - \frac{N_{лето}}{N_{лето}^n} = 1 - \frac{2168900}{2,78 \cdot 10^{16}} = 1,0;$$

$$F_{осень} = 1 - \frac{N_{осень}}{N_{осень}^n} = 1 - \frac{1163800}{3,73 \cdot 10^{15}} = 1,0;$$

$$F_{зима} = 1 - \frac{N_{зима}}{N_{зима}^n} = 1 - \frac{1428300}{4,97 \cdot 10^{16}} = 1,0.$$

Приведенный к весеннему периоду уровень работоспособности дорожной одежды по формуле (5.5):

$$F_{II} = F_{весна} - \left(1 - \frac{1,2R_u}{R_c} \right) \cdot (1 - F_{лето}) - \\ - \left(1 - \frac{R_u}{R_c} \right) \cdot (1 - F_{осень}) - \left(1 - \frac{1,5R_u}{R_c} \right) \cdot (1 - F_{зима}) = 1,0.$$

Таким образом, влияние транспортной нагрузки при данной толщине слоев незначительно, и развитие усталостных деформаций в виде трещин или сетки трещин маловероятно.

Уровень работоспособности от перепадов температур по формуле (5.6):

$$F_T = 1 - K_{V1} \cdot T_{сл} = 1 - 0,0122 \cdot 18 = 0,84;$$

$$K_{V1} = \left(\frac{6 \cdot 0,80}{10} \right)^6 = 0,0122.$$

Уровень работоспособности от попеременного замораживания-оттаивания по формуле (5.8):



$$F_M = 1 - K_{V11} \cdot T_{cl} = 1 - 0,036 \cdot 18 = 0,53;$$

$$K_{V11} = \frac{R_u \cdot W \cdot p_{V11}}{R_c} = \frac{6 \cdot 3 \cdot 0,020}{10} = 0,036.$$

Максимальное значение водонасыщения принято по СТБ 1033. Для щебеночно-мастичных асфальтобетонов – 3 %.

Уровень повреждаемости от температуры по формуле (5.10):

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4} = 1 - 0,84^{3,8(1-0,84)-0,4} = 0,035.$$

Уровень повреждаемости от попеременного замораживания-оттаивания по формуле (5.11):

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4} = 1 - 0,53^{3,8(1-0,53)-0,4} = 0,581.$$

Общий приведенный уровень работоспособности:

– от температурных факторов по формуле (5.12):

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T) \cdot 0,7 = 0,3 \cdot 0,84 + (1 - 0,035) \cdot 0,7 = 0,93;$$

– от попеременного замораживания-оттаивания по формуле (5.13):

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M) \cdot 0,6 = 0,4 \cdot 0,53 + (1 - 0,581) \cdot 0,6 = 0,46.$$

Общий приведенный уровень работоспособности по формуле (5.14):

$$F_O = F_T^n - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n) = 1 - (1 - 0,93) - (1 - 0,46) = 0,39.$$

Общий уровень повреждаемости по формуле (5.15):

$$\psi_O = 1 - F_O^{3,8(1-F_O)-0,4} = 1 - 0,39^{3,8(1-0,39)-0,4} = 0,83.$$

Общий уровень повреждаемости выше предельно допустимого, равного 0,5. Учитывая, что наибольшее влияние на его величину оказывает попеременное замораживание-оттаивание, следует ограничить максимальную величину водонасыщения.

Для обеспечения величины общего уровня повреждаемости, равного 0,5, произведя расчеты от обратного, максимальная величина показателя водонасыщения должна составлять не более 2,3 %.

Расчет показал, что основными видами возможных усталостных деформаций дорожной одежды будут температурные и коррозионные.

В качестве исходных данных для практической работы принять результаты расчета конструкции капитальной дорожной одежды, выполненного в практических работах № 1–4.



6 Практическая работа № 6. Расчет жестких дорожных одежд

Расчет дорожных одежд производят с учетом состава транспортного потока перспективной интенсивности движения к концу срока службы, грунтовых и природно-климатических условий.

Расчет выполняют по предельным состояниям, определяющим потерю работоспособности того или иного элемента конструкции, на основании расчетных схем, используя нормируемые расчетные параметры.

Расчет производят путем проверки предварительно назначенной конструкции дорожной одежды по:

- прочности верхних слоев дорожной одежды;
- прочности и устойчивости земляного полотна и слоев основания на сдвиг и по накоплению уступов в поперечных швах покрытия;
- устойчивости в продольном направлении покрытия в жаркое время года;
- прочности стыковых и монтажных соединений;
- устойчивости дорожной одежды к воздействию морозного пучения;
- способности дренажного слоя основания отводить влагу в весенний период.

Расчетом определяют толщину покрытия и слоев основания, расстояние между поперечными швами, количество штырей в швах расширения и сжатия.

Исходные данные для расчета дорожной одежды включают:

- параметры дороги (категорию, ширину проезжей части, срок службы дорожной одежды до капитального ремонта);
- параметры движения (интенсивность, нагрузку);
- параметры земляного полотна и условия его работы (тип местности, разновидность грунтов, уровень грунтовых вод);
- дорожно-климатический район.

Жесткие дорожные одежды определяют с учетом надежности (вероятности безотказной работы конструкции в течение заданного срока эксплуатации), принимаемой по таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Значения коэффициентов прочности и уровня надежности

Интенсивность расчетной нагрузки, ед./сут	Уровень надежности	Коэффициент прочности K_{np}
Св. 1000	0,95	1,00
От 500 до 1000 включ.	0,90	0,94
До 500	0,80	0,87

Расчет монолитных цементобетонных покрытий производят посредством проверки прочности покрытия по формуле

$$K_{np} \leq \frac{R_{pu}^{расч}}{\sigma_{pt}}, \quad (6.1)$$



где K_{np} – коэффициент прочности, определяемый в зависимости от категории дороги (таблица 6.1);

$R_{pu}^{расч}$ – расчетная прочность бетона на растяжение при изгибе; определяют по [5, приложение А];

σ_{pt} – напряжение растяжения при изгибе, возникающее в бетонном покрытии от действия нагрузки, с учетом перепада температуры по толщине плиты, МПа.

Напряжение растяжения при изгибе определяют по одной из двух расчетных схем, учитывающих условия контакта плиты с основанием и место расположения нагрузки.

Первая расчетная схема применяется для определения толщины покрытия при условии гарантированной устойчивости земляного полотна и отсутствия неравномерных осадок или выпучивания; характеризуется наличием полного контакта плит с основанием под всей площадью плиты. Расчетное место приложения нагрузки в дорожном покрытии – продольный внешний край в центре по длине плиты.

Вторая расчетная схема применяется для определения расстояния между поперечными швами, а также толщины плит в особых условиях для дорог низких категорий при заданной их длине на участках с ожидаемыми неравномерными осадками или неравномерным пучением земляного полотна.

По первой расчетной схеме напряжение σ_{pt} , МПа, определяют, исходя из решений теории упругости, по следующей аппроксимирующей зависимости, отражающей наличие контакта плиты с основанием:

$$\sigma_{pt} = \frac{P \cdot 60 \cdot K_m \cdot K_{усл} \cdot K_{шт}}{h^2 \cdot K_t} \cdot \left(0,592 - 0,21371g \frac{R}{l_y} \right), \quad (6.2)$$

где P – расчетная нагрузка, кН;

K_m – коэффициент, учитывающий влияние места расположения нагрузки; для неармированных покрытий $K_m = 1,5$; для покрытий с краевым армированием или площадок с расположением полос наката не ближе чем 0,8 ширины внешнего продольного края покрытия: $K_m = 1,0$ – для продольного направления и $K_m = 1,5$ – для поперечного;

$K_{усл}$ – коэффициент, учитывающий условия работы, $K_{усл} = 0,66$;

$K_{шт}$ – коэффициент, учитывающий влияние стыковых соединений на условия контактирования плит с основанием; при наличии в поперечных швах стыков $K_{шт} = 1$, при отсутствии – $K_{шт} = 1,05$;

h – толщина плиты, см;

K_t – коэффициент, учитывающий влияние температурного коробления плит, определяемый в зависимости от толщины плиты (таблица 6.2);

R – радиус отпечатка колеса;

l_y – упругая характеристика плиты, см.



$$l_y = h^3 \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu_o^2)}{6E_o^3 \cdot (1 - \mu^2)}}, \quad (6.3)$$

где E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона бетона, определяемые по [5, приложение А];

μ_o – коэффициент Пуассона для основания;

E_o^3 – эквивалентный модуль упругости основания

$$E_o^3 = \frac{E_i}{0,71 \sqrt{\frac{E_{общ}^{i+1}}{E_i} \cdot \arctg\left(\frac{1,35h_3}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{общ}^{i+1}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\frac{D}{h_3}}}; \quad (6.4)$$

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

D – диаметр отпечатка колеса или площадки силового контактирования верхнего слоя с нижележащим; принимают $D = 50$ см; для сборного покрытия $D = 2a + h$ или $D = 2b + h$.

$$h = 2h_i^3 \sqrt{\frac{E_i}{E_{общ}^{i+1}}}, \quad (6.5)$$

где i – номер рассматриваемого слоя дорожной одежды, считая сверху вниз;

h_i – толщина i -го слоя, см;

$E_{общ}^{i+1}$ – общий модуль упругости полупространства, подстилающего i -й слой, МПа.

Для основания, работающего на изгиб (бетон, цементогрунт), E_o^3 определяют по формуле

$$E_o^3 = E_{i-1} \cdot \frac{2,58h_i^3 \sqrt{E/6E_{i-1}} + D}{D_{ш}}, \quad (6.6)$$

где $D_{ш}$ – условный диаметр штампа, применяемый при определении модуля упругости грунта, $D_{ш} = 50$ см.

Таблица 6.2 – Значения коэффициентов, учитывающих влияние температурного коробления плит

Толщина плиты h , см	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
K_t	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,80	0,77	0,73	0,70	0,67

При второй расчетной схеме при опирании плиты на основание в ее центральной части по длине полудлину плиты A , см, определяют по формуле



$$A = 4 \cdot \left(\frac{R + R \cdot R_{pu}^{расч} \cdot B \cdot h^2}{60K_c \cdot P} \right), \quad (6.7)$$

толщину плиты h , см, – на основе формул (6.1) и (6.4):

$$h = \sqrt{\frac{60K_c \cdot P}{B \cdot R_{pu}^{расч}} \cdot (0,25A - R)}, \quad (6.8)$$

где P – расчетная нагрузка, кН;

h , A и B – размеры плиты, см;

B – полуширина плиты, см; $A \geq B$,

K_c – коэффициент скорости потери ровности основания при ожидаемой общей просадке основания (земляного полотна) более 15 см $K_c = 1,2$, в остальных случаях – $K_c = 1$.

Для проектирования дорожной одежды с цементобетонным монолитным покрытием на автомобильной дороге I-а категории принять исходные данные, представленные в таблице 6.3

Таблица 6.3 – Исходные данные по вариантам

Вариант	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25
Грунт земляного полотна	Супесь легкая непылеватая	Песок пылеватый	Суглинок непылеватый	Супесь пылеватая	Супесь легкая крупная
Материал покрытия: бетон класса	<i>Btb</i> 3,6	<i>Btb</i> 4,0	<i>Btb</i> 4,4	<i>Btb</i> 3,6	<i>Btb</i> 4,4
Интенсивность движения N_p , ед./сут	875	1253	3450	978	2556
Прирост интенсивности, %	3	4	5	6	3
Дорожно-климатический район	1	2	3	1	2
Схема увлажнения	3	1	2	3	1

Примечание – Ширина проезжей части для движения в одном направлении – 7,5 м. Ширина земляного полотна (с учетом обочин) – 15 м. Расчетный срок службы покрытия – 25 лет. Расчетная нагрузка на дорожную одежду – $P_k = 57,5$ кН. Давление в шинах – 0,6 МПа. Глубина промерзания – 1,0 м. Глубина залегания уровня грунтовых вод – 1,5 м. Коэффициент фильтрации дренирующего материала (песка) K_f – 3 м/сут. Материал основания – песок, укрепленный цементом, нижнего слоя – песок среднезернистый

7 Практическая работа № 7. Пересечение автомобильных дорог линиями ВЛ и СС

Целью переустройства воздушных и кабельных линий связи (ЛС), линий радио (РС), воздушных и кабельных линий электропередач (ВЛ) является обеспечение требуемого удаления опор воздушной линии или кабельной линии от дороги, обеспечение габаритного пролета над проезжей частью автомобильной дороги, а также необходимого расстояния между проводами пересекающихся воздушных линий.

По данным изысканий для воздушных линий, которые необходимо переустраивать, строят поперечный разрез, представленный на рисунке 7.1.

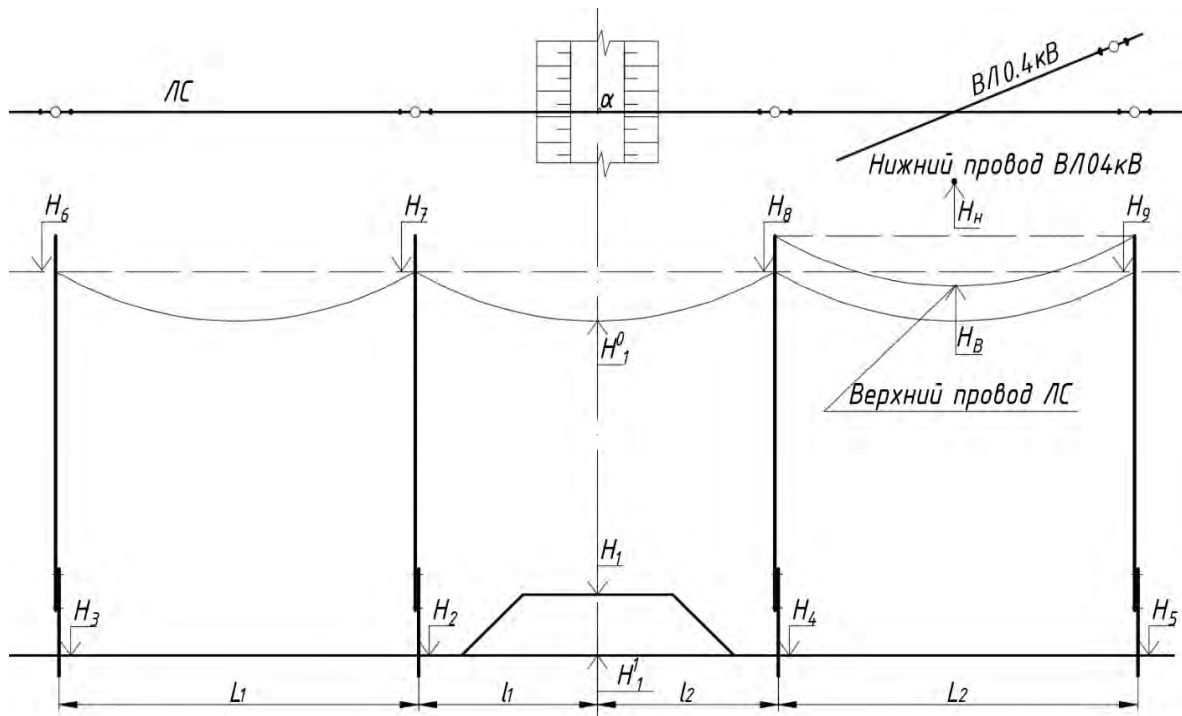


Рисунок 7.1 – Поперечный разрез и план пересечения коммуникаций с дорогой

На поперечном разрезе указывают отметки оси проектируемой проезжей части дороги H_1 , отметки земли у основания опор $H_2...H_5$, отметки нижнего провода над осью проектируемой дороги H_1^0 , отметки проводов на опорах $H_6...H_9$, расстояния от оси дороги до близлежащих опор l_1, l_2 , длины смежных пролетов L_1, L_2 . В случае пересечения инженерных коммуникаций между собой (например, ВЛ и ЛС, см. рисунок 7.1) дополнительно в местах пересечения определяют отметки нижнего провода верхней линии H_n и верхнего провода нижней линии H_6 .

Угол пересечения ВЛ 0,4...10 кВ с автомобильными дорогами не нормируется. При пересечении автомобильных дорог II–IV категорий опоры, ограничивающие пролет пересечения, могут быть анкерного типа, облегченной конструкции или промежуточные. Опоры ВЛ, находящиеся на обочине дороги, должны быть защищены от наезда транспорта путем устройства специального

ограждения. При пересечениях непроезжей части улиц ответвлениями от ВЛ 0,4 кВ к вводам расстояние от проводов до тротуаров и пешеходных дорожек допускается принимать 3,5 м. В случае невозможности соблюдения указанного габарита должны быть установлена дополнительная опора или конструкция на здании.

Требуемые нормативы при пересечениях и сближениях ВЛ 0,4...10 кВ с автомобильной дорогой, с ЛС и РС и между собой приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Требуемые нормативы при пересечениях и сближениях ВЛ, ЛС и РС

Пересечение или сближение	Наименьшее расстояние, м
<i>Расстояние по вертикали</i>	
От провода до оси дороги в нормальном режиме: для III–V кат. ВЛ 0,4 кВ; для V кат. ВЛ 10 кВ для I–II кат. ВЛ 0,4 кВ; для I–IV кат. ВЛ 10 кВ	6 7
От транспортных средств до провода	2,5
Расстояние между ближайшими пересекающимися в пролете проводами ВЛ 0,4 кВ и ВЛ 0,4 кВ и РС	1
<i>Расстояние по горизонтали</i>	
От основания опоры до бровки земляного полотна дороги при пересечении	Высота опоры H_o
От основания опоры до бровки земляного полотна при параллельном следовании	$H_o + 5$
От основания опоры до бровки земляного полотна на участках стесненной трассы от любой части опоры до подошвы насыпи: при пересечении I–II категории при пересечении III–V категории	5 1,5
При параллельном следовании от крайнего провода при вертикальном положении до бровки земляного полотна дороги	2
Расстояние между опорами пересекающей и пересекаемой линии ВЛ 0,4 кВ	2
Расстояние по вертикали от проводов ВЛ 10 кВ до проводов ЛС и РС: при наличии грозозащитных устройств, а также при железобетонных и металлических опорах при отсутствии грозозащитных устройств	2 4

Расстояние от нижнего провода линии до поверхности дороги, земли или пересекаемой коммуникации определяется с учетом провеса y , зависящего от длины пролета, района по гололеду, района по ветру, материала опоры, марки провода.

Провес определяют по формуле

$$y = \frac{x}{l} \left[\Delta h + 4 f_M \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right], \quad (7.1)$$

где x – расстояние от опоры до точки, где определяется провес, показано на рисунке 7.2;



Δh – перепад высот провода на смежных опорах;
 f_M – максимальная стрела провеса провода.

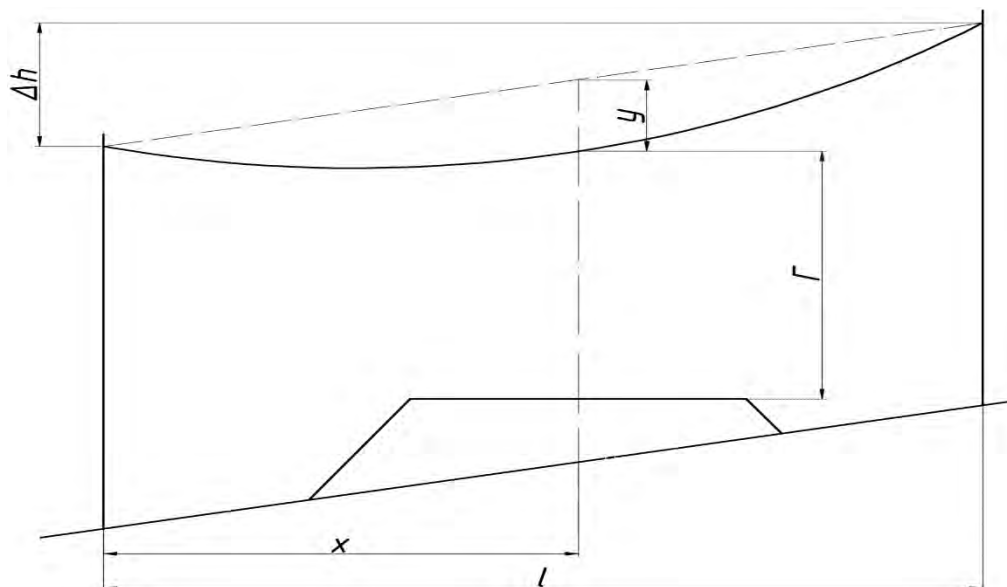


Рисунок 7.2 – Схема к определению провеса

Зная необходимый габарит Γ переустраиваемой линии над дорогой или над другой коммуникацией, по формуле (7.1) можно решить обратную задачу: по величине Γ подобрать необходимую высоту опор, ограничивающих пролет пересечения/

Исходные данные для выполнения практической работы представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Исходные данные

Вариант	1–4	5–8	9–12	13–16	17–20	21–24
Категория дороги	II	III	IV	V	II	III
Пикетажное положение пересечения	ПК5+10	ПК6+20	ПК7+15	ПК8+30	ПК9+40	ПК10+50
Высота насыпи, м	1	1,5	1,4	2	1,6	1,8
Расстояние между опорами, м	22	20	18	17	15	10
Высота опор, м	6	5	4,9	4,8	4,7	4,5
Отметка земли по оси дороги, м	100,49	110,50	120,30	118,40	131,15	125,20

8 Практическая работа № 8. Проектирование автомобильных дорог на слабом основании

К слабым грунтам следует отнести связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,75 МПа или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа.

В основу проектного решения на участке залегания слабых грунтов может быть положен один из двух принципов:

- 1) удаление слабого грунта и замена его на более прочный;
- 2) использование слабых грунтов в качестве основания насыпи с применением мероприятий, обеспечивающих устойчивость основания и ускорение его осадки, а также прочность дорожной одежды, сооружаемой на таком земляном полотне.

К земляному полотну, сооружаемому с использованием слабых грунтов в основании насыпи, предъявляются дополнительные требования:

- должна быть исключена возможность выдавливания оставляемого слабого грунта из-под насыпи в процессе ее возведения и эксплуатации;
- интенсивная часть осадки должна завершиться до сооружения покрытия.

При проектировании насыпей с расчетной высотой 3 м на торфяных болотах глубиной не более 4...8 м, когда расчетная нагрузка на основание насыпи не превышает 0,075 МПа, оценку прочности слабых грунтов допускается вести укрупненно на основе типизации по прочности.

Следует различать три строительных типа болотных грунтов прочности:

- 1) грунты, которые обладают достаточной прочностью в природном состоянии и при передаче на них нагрузки от насыпи могут сжиматься независимо от скорости передачи нагрузки;
- 2) грунты, не обладающие в природном состоянии достаточной прочностью, при быстрой передаче на них нагрузки от насыпи выдавливаются, при медленной передаче – успевают уплотниться и упрочниться настолько, что не выдавливаются, а сжимаются;
- 3) грунты при передаче на них указанной нагрузки в любом случае выдавливаются из-за недостаточной прочности в природном состоянии и недостаточной упрочняемости при уплотнении.

Степень устойчивости устанавливается по величине коэффициента безопасности

$$K_{уст} = \frac{P_{пред}}{P}, \quad (8.1)$$

где $P_{пред}$ – безопасная нагрузка, т. е. предельная нагрузка, отвечающая условию устойчивости, МПа;

P – нагрузка на основание, МПа.

Устойчивость основания считается обеспеченной при условии $K_{уст} \geq 1$.



Величины $P_{пред}$ и P зависят не только от параметров возводимой насыпи и свойств слабых грунтов в их природном залегании.

Выбор метода расчета зависит от конкретных условий работы сооружения. Применять один метод расчета можно лишь в тех случаях, когда с большой вероятностью известна форма нарушения устойчивости и безопасности. В сложных случаях необходимо проводить комплексный расчет по вероятным схемам.

Пример – Определить коэффициент устойчивости насыпи против просадки. Высота насыпи – 8 м, ширина по верху – 12 м, заложение откосов – 1:1,5. Насыпь отсыпается без укладки под нее слоя накатника. Подстилающий грунт – слой водонасыщенного илистого грунта мощностью 3,5 м со сцеплением $c = 30$ кПа. Ниже расположена плотная глина. Угол внутреннего трения близок к нулю. Удельный вес грунта насыпи $\gamma = 17$ кН/м³.

Решение

В рассматриваемом случае деформация насыпи может произойти за счет выжимания грунта из-под насыпи в стороны. Согласно исследованию Л. К. Юргенса, при подошве насыпи, параллельной подстилающему грунту, развитие пластических деформаций во всей толще сжимаемого слабого илистого грунта происходит при предельной нагрузке

$$P_{пред} = \frac{c \cdot B}{2H}, \quad (8.2)$$

где c – сцепление грунта, кПа;

B – ширина насыпи по низу, м;

H – толщина деформируемого слоя слабого грунта, кПа.

Формула (8.2) справедлива при $H \leq B/4$.

Если низ насыпи имеет выпуклое очертание (насыпь отсыпается непосредственно на мягкий грунт без настила из накатника), предельная нагрузка принимается в 2 раза меньшей.

Для определения расчетной проектной нагрузки P вычисляем площадь сечения насыпи

$$\omega = \frac{12 + 12 + 2 \cdot 1,5 \cdot 8}{2} \cdot 8 = 192 \text{ м}^2.$$

Треугольник с основанием, равным ширине насыпи понизу, должен иметь высоту $h_{тр} = 2 \cdot 192 / 36 = 10,7$ м (рисунок 8.1).

Предельно допустимая нагрузка на подстилающий грунт

$$P_{пред} = \frac{30 \cdot 36}{2 \cdot 3,5} = 154,3 \text{ кПа}$$



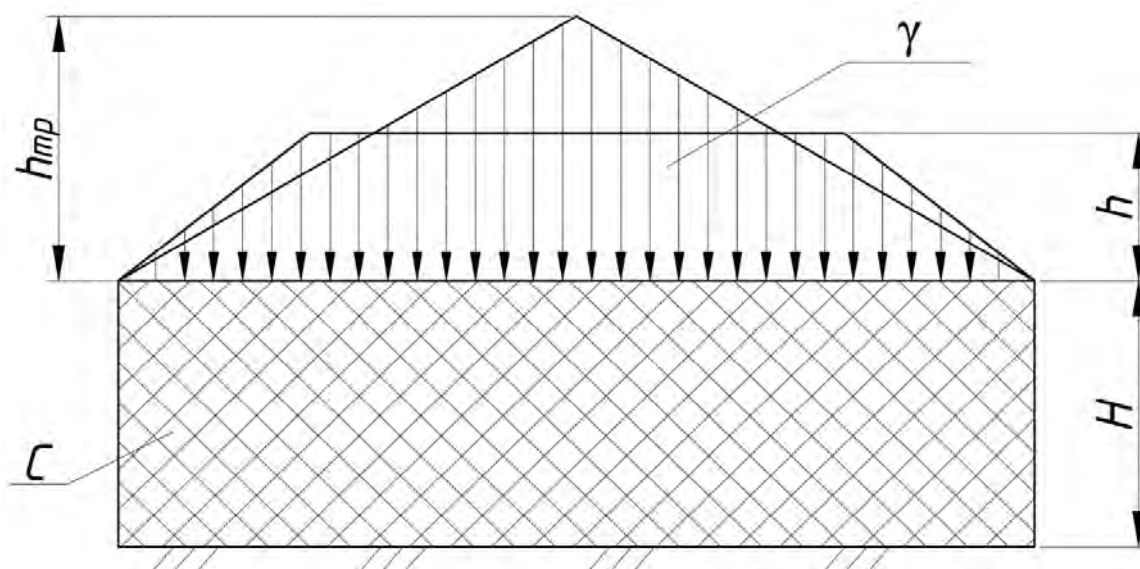


Рисунок 8.1 – Насыпь на слабом основании

Коэффициент устойчивости подстилающего грунта против выпирания

$$K_{уст} = \frac{P_{пред}}{P} = \frac{154,3}{17 \cdot 10,7} = 0,85.$$

Это показывает, что устойчивость насыпи не обеспечивается и произойдет выжимание подстилающего грунта. Для обеспечения устойчивости может быть проведен ряд мероприятий:

- отсыпка насыпи из более легких материалов (котельный шлак) или уменьшение ее высоты, если это допустимо по условиям положения проектной линии;
- отсыпка насыпи на основание из накатника;
- удаление части подстилающего слабого грунта.

Рассмотрим эти варианты.

1 При коэффициенте устойчивости $K_{уст} = 1,5$ давление на подстилающий грунт от насыпи не должно превышать

$$P = \frac{154,3}{1,5} \approx 103 \text{ кПа.}$$

Это соответствует весу столба грунта высотой $h = 103/17 \approx 6,1$ м.

Полученная величина является высотой треугольника, эквивалентного по площади поперечному сечению насыпи и имеющего с ней равные основания.

Сопоставляем выражения для площадей треугольника и трапеции и приравниваем их друг к другу

$$\frac{12 + 12 + 2 \cdot 1,5x}{2} \cdot x = \frac{6,1}{2} (12 + 2 \cdot 1,5x),$$

где x – допустимая высота насыпи, м.

Преобразовывая, получаем квадратное уравнение

$$3x^2 + 5,7x - 73,2 = 0,$$

решая которое, определяем, что $x = 4,08$ м. Таким образом, для устойчивости высота насыпи должна быть уменьшена на 3,92 м, т. е. более чем вдвое.

2 В случае отсыпки насыпи на накатник предельная нагрузка, выдерживаемая основанием, $P_{пред} = c \cdot B/H = 30 \cdot 36/3,5 = 308,6$ кПа. Коэффициент устойчивости

$$K_{уст} = \frac{308,6}{17 \cdot 10,7} = \frac{308,6}{181,9} = 1,7.$$

3 Определим, насколько должна быть уменьшена толщина слоя илистого грунта, чтобы коэффициент устойчивости был равен 1,5. Для этого предельная нагрузка, выдерживаемая осевшим слоем грунта, должна быть

$$P_{пред} = 1,5(P + 17h_1) = 1,5(17 \cdot 10,7 + 17h_1), \quad (8.3)$$

где h_1 – толщина слоя насыпи, который будет отсыпан для компенсации удаленного илистого грунта при условии сохранения постоянства рабочей отметки насыпи.

Таким образом,

$$P_{пред} = \frac{c \cdot B}{H_1}, \quad (8.4)$$

где H_1 – толщина оставляемого под насыпью слабого грунта, м;

$$H_1 = H - h_1 \approx 3,5 - h_1;$$

H – толщина слоя илистого грунта, м.

Приравнивая значения $P_{пред}$, получаем квадратное уравнение, решение которого дает значение $h_1 \approx 1,9$ м.

Таким образом, необходимо удалить немногим более половины толщины слоя слабого грунта.

Варианты для проектирования насыпи на слабом основании представлены в таблице 8.1.



Таблица 8.1 – Исходные данные

Вариант	1–4	5–8	9–12	13–16	17–20	21–24
Высота насыпи, м	6	7	8	9	10	11
Категория дороги	II	III	IV	V	II	III
Заложение откосов	1:1,5	1:1,75	1:2	1:3	1:1,75	1:2
Мощность подстилающего грунта, м	3,5	4	4,5	4,3	4,8	4,2
Сцепление грунта, кПа	30	20	22	23	25	28

Список литературы

- 1 **ТКП 45-3.03-112-2008.** Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2009. – 84 с.
- 2 **Парахневич, В. Т.** Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков: учебное пособие / В.Т. Парахневич. – Минск: Новое знание, 2016. – 368 с.
- 3 **ТКП 140-2015 (33200).** Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики. – Минск: БелдорНИИ, 2015. – 61 с.
- 4 **СТБ 1033-2016.** Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2017. – 36 с.
- 5 **ТКП 45-3.03-244-2011 (02250).** Автомобильные дороги. Дорожные одежды жесткого типа. Строительные нормы проектирования. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2012. – 64 с.

