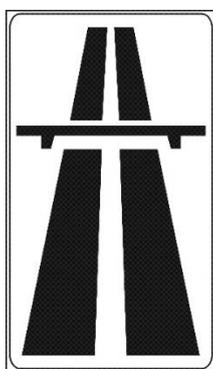


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, УЛИЦ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 625.72
ББК 39.311
О13

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «30» сентября 2020 г.,
протокол № 1

Составители: канд. техн. наук, доц. В. Т. Парахневич;
Ю. Н. Лебедева

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

В методических рекомендациях рассматриваются вопросы расчета разбивочных элементов и составления плана разбивки закругления, расчета нежестких и жестких дорожных одежд, определения характеристик водосбора, обработка результатов обследования водопропускных сооружений.

Учебно-методическое издание

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, УЛИЦ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ответственный за выпуск	А. Ю. Скриган
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевнича

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 21 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное учреждение высшего профессионального 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, 2020

Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Вводное занятие. Инструктаж по технике безопасности	5
2 Практическая работа № 2. Расчет разбивочных элементов и составление плана разбивки закругления.....	7
3 Практическая работа № 3. Расчет транспортных нагрузок	11
4 Практическая работа № 4. Расчет нежестких дорожных одежд	15
5 Практическая работа № 5. Расчет жестких дорожных одежд	24
6 Практическая работа № 6. Определение площади и характеристик водосбора.....	28
7 Практическая работа № 7. Расчет размеров водопропускных сооружений	31
8 Практическая работа № 8. Изучение нормативной литературы	33
9 Практическая работа № 9. Обработка результатов обследования.....	33
Список литературы	35

Введение

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений» и преследуют цель углубить их знания в области обеспечения долговечности и надежности автомобильных дорог, улиц и транспортных объектов. Надежность автомобильных дорог и транспортных объектов зависит от многих факторов, которые формируются на стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Трудно определить который из них является определяющим. Как правило, это сочетание нескольких факторов, которые могут быть как субъективными, так и объективными. Дефекты, которые появляются в результате эксплуатации автомобильных дорог, уменьшают срок службы и надежность дорог. Своевременное выявление и устранение дефектов в результате обследования позволяет улучшить долговечность и надежность дорог.

Для формирования знаний об основных причинах, которые обеспечивают надлежащую долговечность и надежность, необходимы сведения ряда специальных дисциплин. Анализ этих сведений и обследования автомобильных дорог позволит определить направления по улучшению долговечности и надежности дорог.

В методических рекомендациях приводятся основные сведения по проектированию дорог и дорожных сооружений, которые определяют их долговечность и надежность.

Важным фактором обеспечения долговечности и надежности автомобильных дорог, дорожных сооружений является строгое соблюдение нормативных документов на всех стадиях создания и эксплуатации дорог. Обследование позволяет определять основные дефекты, что является основанием для улучшения нормативных документов.

Изучение материалов преследует цель оказать содействие в определении научных направлений по исследованиям для повышения долговечности и надежности, автомобильных дорог и дорожных сооружений.

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

1 Практическая работа № 1. Вводное занятие. Инструктаж по технике безопасности

Цель работы: изучить виды и порядок проведения инструктажей.

Правила охраны труда при выполнении практических работ

Студентов допускают к выполнению практических работ только после прохождения инструктажа по охране труда на рабочем месте, о чем должна быть сделана запись в журнале с обязательной подписью студентов и лица, проводившего инструктаж. Перед выполнением очередной практической работы необходимо изучить методические указания, ознакомиться с устройством и правилами использования оборудования, приборов.

На занятиях следует выполнять работу, которая предусмотрена заданием. Разрешается работать только на исправных установках, с исправными измерительными приборами и инструментами. Запрещается оставлять без присмотра работающие приборы или стенды. При обнаружении неисправности необходимо выключить прибор или стенд и сообщить о ней преподавателю или учебному мастеру. Устранять неисправности самому студенту категорически воспрещается. Каждую работу необходимо защитить, ответив на вопросы преподавателя или учебного мастера.

При несчастном случае студенты должны уметь оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

Студенты несут ответственность за нарушение правил охраны труда.

Инструктажи по безопасности труда подразделяются на:

- вводный;
- первичный на рабочем месте;
- повторный;
- внеплановый;
- целевой.

Вводный инструктаж проводится:

- со всеми вновь прибывшими на работу, независимо от их образования, стажа работы, должности;
- с временными работниками;
- командированными;
- студентами, прибывшими на производственную практику.

Вводный инструктаж на предприятиях проводит инженер по технике безопасности. Для проведения вводного инструктажа разрабатывается программа, которая утверждается руководителем предприятия. В ней отражен следующий материал.

- 1 Распорядок дня и общие сведения о предприятии.
- 2 Законодательство об охране труда.
- 3 Техника безопасности.
- 4 Производственная санитария.

5 Средства индивидуальной защиты рабочих.

6 Пожарная безопасность.

7 Первая помощь пострадавшим.

Руководитель предприятия не должен подписывать приказ о зачислении вновь поступающего на работу, пока он не пройдет вводный инструктаж, о проведении которого делают запись в карточке (форма 1), которую хранят в личном деле работника.

Форма 1

Карточка учёта вводного инструктажа по технике безопасности.

Фамилия _____ Имя _____ Отчество _____
 Год рождения _____
 Профессия _____, общий стаж работы _____
 Участок работы _____ (бригада, фирма)
 Подпись получившего инструктаж _____
 Подпись проводившего инструктаж _____
 Дата проведения инструктажа _____

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится до начала самостоятельной работы непосредственным руководителем участка. Инструктаж проводится с целью получения конкретных знаний для безопасного выполнения работ.

Программа инструктажа предусматривает:

- общее ознакомление с технологическим процессом на данном участке работы;
- ознакомление с устройством оборудования;
- порядок подготовки к работе;
- требования к спецодежде;
- случаи производственного травматизма и их причины;
- требования безопасности к электрооборудованию;
- меры оказания первой помощи при несчастных случаях;
- ответственность работника за нарушение правил безопасности труда.

Данный инструктаж проводится с каждым работником индивидуально с показом безопасных приёмов труда. Вновь принятый работник проходит стажировку от 2 до 14 смен под наблюдением опытного работника. Затем руководитель подразделения проверяет работу вновь принятого работника и то, как усвоены приёмы безопасной работы. Затем осуществляется допуск к самостоятельной работе. Факт проведения инструктажа фиксируют в журнале по установленной форме.

Здесь же делают запись о повторном (периодическом) инструктаже, который проводят с периодичностью один раз в 6 мес., о внеплановом инструктаже, проводимом при несчастном случае, аварии, замене и модернизации оборудования, изменении технологического процесса, при перерывах в работе.

Журналы должны быть пронумерованы, скреплены печатью. Во всех журналах заполняются все графы и строки без пропусков.

Целевой инструктаж проводят при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями по специальности (погрузка, уборка территории), при проведении экскурсии на предприятии. Перед особо опасными работами (работа на большой высоте) целевой инструктаж фиксируют в наряде-допуске, разрешающем проведение работ.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите виды инструктажей. Где их регистрируют?
- 2 Что входит в программу вводного инструктажа?
- 3 Что включает в себя программа инструктажа на рабочем месте?

2 Практическая работа № 2. Расчет разбивочных элементов и составление плана разбивки закругления

Цель работы: получение навыков научного обоснования в расчете разбивочных элементов и составлении плана разбивки закругления.

В результате выполнения задания следует построить чертеж детальной разбивки закругления автомобильной дороги способом прямоугольных координат. Рассматривается закругление, состоящее из круговой и двух переходных клотоидных кривых. В состав работы входит:

- определение основных элементов закругления;
- определение прямоугольных координат точек для детальной разбивки закругления;
- составление чертежа «План детальной разбивки закругления».

Исходными данными являются радиус закругления R и угол поворота трассы α . Радиус закругления принимается из таблицы 2.1 в соответствии с номером варианта. Номер варианта соответствует номеру студента в списке группы.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радиус круговой кривой R , м	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500

Угол поворота трассы студент принимает индивидуально – число градусов равно 40° плюс столько градусов, сколько букв в фамилии; число минут равно $24'$.

Устройство закругления с переходными кривыми возможно при условии $\alpha \geq 2\tau$, где τ – угол наклона касательной к концу переходной кривой.

Наименьшую длину переходной кривой L принимают в зависимости от величины радиуса. Ее значения для дороги IV категории приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Наименьшая длина переходной кривой

Радиус круговой кривой R , м	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500
Длина переходной кривой L , м	130	150	140	120	110	100	100	100	100	100

Основные элементы закругления (тангенс несдвинутой круговой кривой T , дополнительный тангенс t , полный тангенс T_{II} , длина круговой кривой K_0 , биссектриса закругления B , сдвигка круговой кривой p , домер D) определяются по следующим формулам:

$$T = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad t = X_L - R \sin \tau;$$

$$\tau = \frac{L}{2R}; \quad T_{II} = T + t;$$

$$K_0 = \frac{\pi R(\alpha - 2\tau)}{180^\circ}; \quad B = (R + p) \operatorname{sec} \frac{\alpha}{2} - R;$$

$$p = Y_L - R(1 - \cos \tau); \quad D = 2T_{II} - 2L - K_0.$$

В практической работе необходимо представить эти формулы, а вычисления основных элементов закругления следует занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Основные элементы закругления

α	R , м	T , м	t , м	T_{II} , м	K_0 , м	L , м	B , м	p , м	D , м	τ

Для детальной разбивки закругления назначают величину интервала разбивки l_p . На переходной кривой l_p принимают равным 10 м, на круговой – в зависимости от радиуса (10 м – при радиусах до 500 м и 20 м – при больших радиусах).

Так как каждую ветвь закругления разбивают отдельно, то прямоугольные координаты точек вычисляют от начала до середины закругления. Начало прямоугольных координат находится в начале переходной кривой. Ось абсцис направлена по тангенсу к вершине угла поворота.

Прямоугольные координаты точек закругления вычисляются по формулам:

– на переходной кривой ($l_n \leq L$)

$$X_n = l_n \left(1 - \frac{l_n^4}{40R^2L^2} \right); \quad Y_n = \frac{l_n^3}{6RL} \left(1 - \frac{l_n^4}{56R^2L^2} \right); \quad l_n = nl_p;$$

– на круговой кривой ($l_n > L$)

$$X_n = L \left(1 - \frac{L^2}{40R^2} \right) + 2R \cos \frac{\rho l_n}{2R} \sin \frac{\rho(l_n - L)}{2R};$$

$$Y_n = \frac{L^2}{6R} \left(1 - \frac{L^2}{56R^2} \right) + 2R \sin \frac{\rho l_n}{2R} \sin \frac{\rho(l_n - L)}{2R},$$

где n – номер разбиваемой точки;

l_p – интервал разбивки, м;

ρ – число градусов в радиане.

В работе надо дать эти формулы, а вычисленные значения координат представить в виде таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Прямоугольные координаты точек закругления

Номер разбиваемой точки	Расстояние по кривой, м	X , м	Y , м
1	10	10,00	0,00
2	20	20,00	0,04
...

По прямоугольным координатам следует построить план закругления с переходными кривыми. На нем должны быть показаны линии тангенсов, оси прямоугольных координат, вершина угла поворота, главные точки закругления НПК1, КПК1 (НКК), ККК (КПК2), НПК2, середина кривой СК, точки детальной разбивки.

План вычерчивается на листе стандартного формата в масштабе 1:1000, 1:2000. Образец плана детальной разбивки закругления приведен на рисунке 2.1.

Контрольные вопросы

1 Назовите особенности построения плана закругления с переходными кривыми.

2 Опишите современные научные подходы определения прямоугольных координат точек для детальной разбивки закругления.

Основные элементы закругления

α	R, м	T, м	l, м	T _п , м	K _о , м	L, м	B, м	P, м	D, м	τ
40°	350	127,82	49,97	177,79	144,35	100	23,73	1,19	11,23	8°11'

Прямоугольные координаты точек закругления

Номер разбиваемой точки	Расстояние по кривой, м	X, м	Y, м	Номер Разбиваемой точки	Расстояние по кривой, м	X, м	Y, м
1	10	10,00	0,01	10	100	99,80	4,75
2	20	20,00	0,04	11	110	109,67	6,32
3	30	30,00	0,13	12	120	119,50	8,17
4	40	40,00	0,30	13	130	129,27	10,29
5	50	49,99	0,60	14	140	138,98	12,70
6	60	59,98	1,03	15	150	148,62	15,38
7	70	69,97	1,63	16	160	158,16	18,33
8	80	79,93	2,44	17	170	167,63	21,56
9	90	89,88	3,49	18	172,18	169,68	22,30

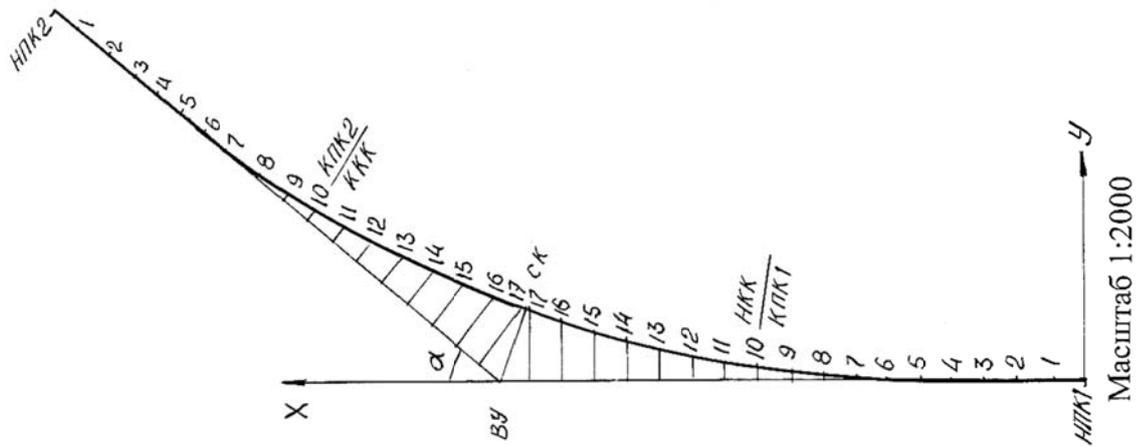


Рисунок 2.1 – План детальной разбивки закругления

3 Практическая работа № 3. Расчет транспортных нагрузок

Цель работы: получение навыков при расчете транспортных нагрузок.

При проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля, которые представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – 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. 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

$$N_p = f_{нол} \cdot \sum_{m=1}^n N_m S_{m сум}, \quad (3.1)$$

где $f_{нол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (таблица 3.2);

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 3.2 – 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 3.3.

Таблица 3.3 – Значения суммарных коэффициентов приведения $S_{\text{сум}}$ для различных транспортных средств

Вид транспортного средства	Коэффициент приведения $S_{\text{сум}}$ к расчетной нагрузке		
	$K_{\text{нр}} (A_1)$	$K_{\text{нр}} (A_2)$	$K_{\text{нр}} (A_3)$
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

Окончание таблицы 3.3

1	2	3	4
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
5 Автопоезда с полуприцепом			
5.1 Тележка тягача 18,0 т	3,00	1,90	1,10
5.2 Тележка тягача 20,0 т	5,50	3,50	2,20
5.3 Тележка тягача 20,0 т	7,00	4,00	2,80
6 Автопоезда с прицепом			
6.1 Задняя ось автомобиля 11,5 т	2,50	1,20	0,95
6.2 Задняя ось автомобиля 13,0 т	4,00	2,20	1,30
6.3 Задняя ось автомобиля 11,5 т	3,50	2,00	1,20
6.4 Задняя ось автомобиля 13,0 т	6,40	4,00	2,80
6.5 Тележка автомобиля 20,0 т	4,00	2,50	1,70
6.6 Тележка автомобиля 26,0 т	8,10	5,00	3,50
7 Автобусы			
7.1 Задняя ось 11,5 т	1,50	1,00	0,60
7.2 Средняя ось 11,5 т	3,76	1,90	1,20
7.3 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

$$\sum N_p = 0,7 N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{cl}-1)}} T_{pdz} K_n, \quad (3.2)$$

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

$$K_c = \frac{q^{T_{cl}} - 1}{q - 1}; \quad (3.3)$$

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

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

T_{pdz} – 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 3.4).

Таблица 3.4 – 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

Пример – Рассчитать число накопленных осей за расчетный срок службы по следующим исходным данным: категория автомобильной дороги – IV, нагрузка на ось – A_2 , тип дорожной одежды – облегченный, $T_{сл} = 8$ 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.

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 3.5 представлены варианты для расчета числа накопленных осей за расчетный срок службы.

Таблица 3.5 – 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

Контрольные вопросы

- 1 Какие ТНПА используются при расчете транспортных нагрузок?
- 2 Опишите научный подход, применяемый при расчете транспортных нагрузок.

4 Практическая работа № 4. Расчет нежестких дорожных одежд

Цель работы: получение навыков в расчете 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:

$$\psi \leq DP, \quad (4.1)$$

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 $T_{pdg} = 365$ 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, по [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 4.1 и 4.2. 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 4.3).

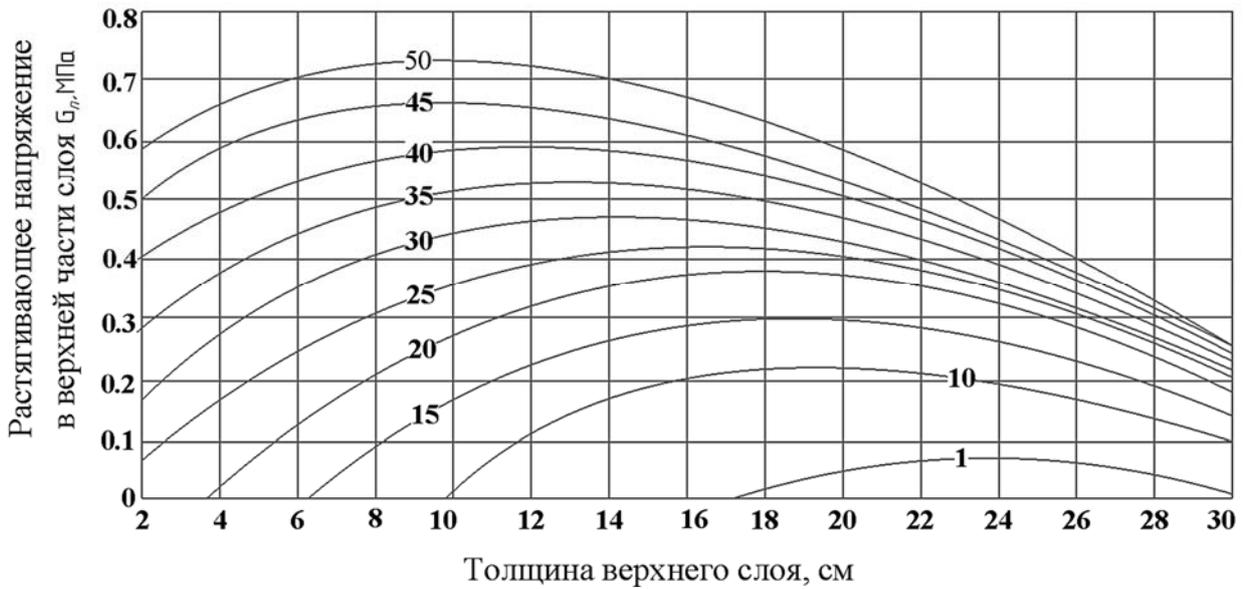


Рисунок 4.1 – Номограмма для определения растягивающих напряжений в нижнем асфальтобетонном слое дорожной одежды (на кривых – значения отношения модулей упругости верхнего слоя и подстилающего его полупространства)

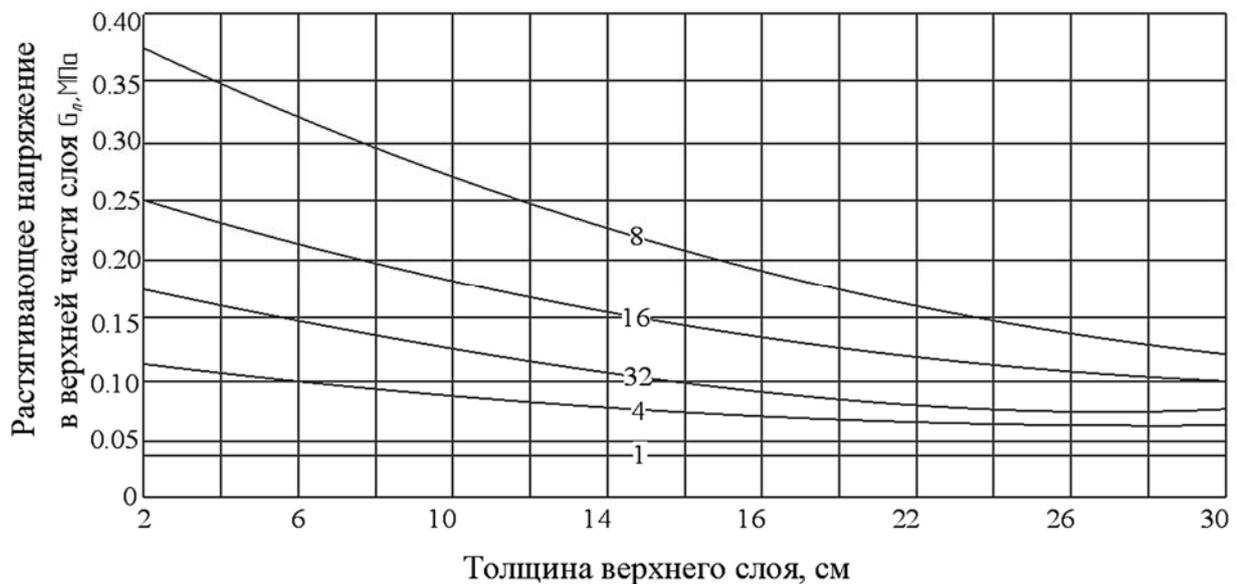


Рисунок 4.2 – Номограмма для определения растягивающих напряжений в верхнем асфальтобетонном слое дорожной одежды (на кривых – значения отношения модулей упругости верхнего и нижнего слоев)

Расчетные модули материала слоев принимают при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В расчет принимают большее значение растягивающих напряжений.

Номограмму, представленную на рисунке 4.1, используют для определения растягивающих напряжений в нижней части слоя.

Номограмму, представленную на рисунке 4.2, используют для определения растягивающих напряжений в верхней части слоя (для верхнего слоя покрытия).

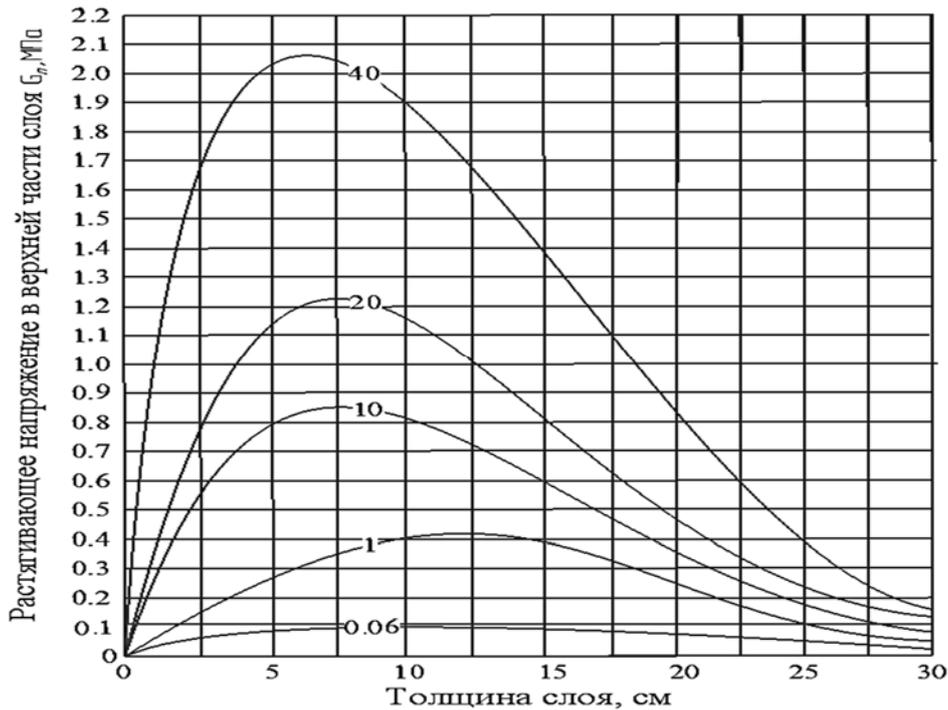


Рисунок 4.3 – Номограмма для определения эквивалентного модуля нижнего асфальтобетонного слоя дорожной одежды (на кривых – значения отношения модулей упругости верхнего слоя и подстилающего его полупространства)

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 $E_{тр}$ по [1, формулы (6.2), (6.3), (6.6)], принимая $T_{рде} = 365$ сут.

Расчет фактического уровня повреждаемости производят в следующей последовательности.

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

$$N_{сез} = \sum N_p \cdot \alpha, \quad (4.2)$$

где α – коэффициент, принимаемый в зависимости от поры года (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – 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

2 Рассчитывают предельное число циклов нагружения для каждого сезона по формуле

$$N_{сез}^n = \left(\beta \cdot \frac{R_u}{\sigma_r} \right)^m, \quad (4.3)$$

где β и m – коэффициенты, принимаемые в зависимости от поры года (см. таблицу 4.1).

3 Определяют уровень работоспособности по сезонам по формуле

$$F_{сез} = 1 - \frac{N_{сез}}{N_{сез}^n}. \quad (4.4)$$

4 Вычисляют приведенный к весеннему периоду уровень работоспособности

$$F_{II} = F_{весна} - \left(1 - \frac{1,2R_u}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{лето}) - \left(1 - \frac{R_u}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{осень}) - \left(1 - \frac{1,5R_u}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{зима}). \quad (4.5)$$

5 Находят уровень работоспособности от перепадов температур по формуле

$$F_T = 1 - K_{V1} \cdot T_{сл}, \quad (4.6)$$

где K_{V1} – коэффициент,

$$K_{V1} = \left(\frac{R_u \cdot p_{V1}}{R_c} \right)^6; \quad (4.7)$$

p_{V1} – коэффициент (таблица 4.2), $p_{V1} = 0,80$ – 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

$$F_M = 1 - K_{V11} \cdot T_{сл}, \quad (4.8)$$

где K_{V11} – коэффициент,

$$K_{V11} = \frac{R_u \cdot W \cdot p_{V11}}{R_c}; \quad (4.9)$$

W – водонасыщение асфальтобетона по СТБ 1033, %;
 p_{VII} – коэффициент (см. таблицу 4.2).

Таблица 4.2 – Значения коэффициента p_{VII}

Группа нагрузок	p_{VII} в зависимости от $\sum N_p$, шт.		
	до 100 000 включ.	св. 100 000 до 2 500 000	св. 2 500 000
A2	0,014	0,013	0,016
A3	0,016	0,015	0,020

Примечание – 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

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4}. \quad (4.10)$$

8 Находят уровень повреждаемости от попеременного замораживания-оттаивания по формуле

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4}. \quad (4.11)$$

9 Рассчитывают общий приведенный уровень работоспособности:
– от температурных факторов

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T) \cdot 0,7; \quad (4.12)$$

– от попеременного замораживания-оттаивания

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M) \cdot 0,6. \quad (4.13)$$

10 Определяют общий приведенный уровень работоспособности по формуле

$$F_O = F_{II} - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n). \quad (4.14)$$

11 Рассчитывают общий уровень повреждаемости по формуле

$$\psi_O = 1 - F_O^{3,8(1-F_O)-0,4}. \quad (4.15)$$

Проверяют условие (4.1). 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 4.4.

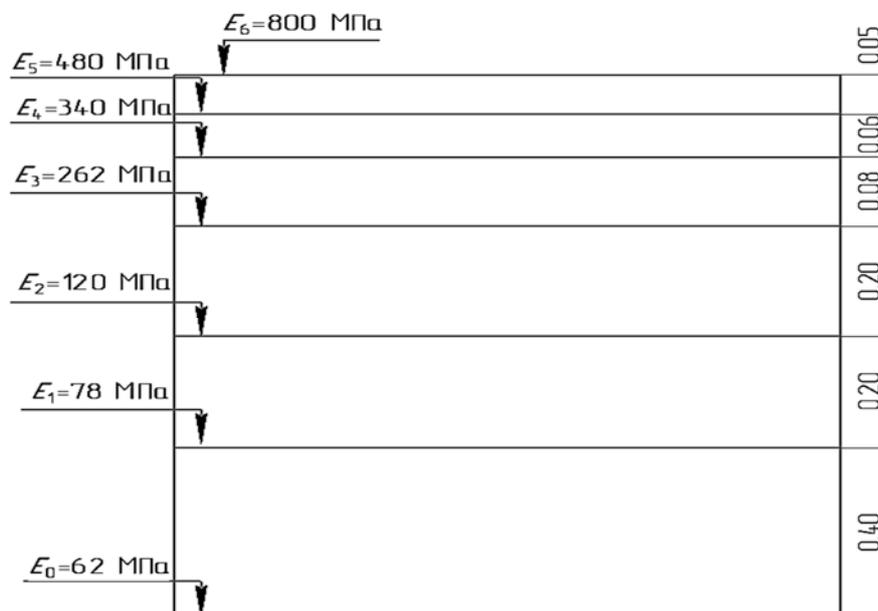


Рисунок 4.4 – Конструкция дорожной одежды

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 средnezернистый: 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 4.1) – 0 МПа.

Растягивающие напряжения в верхней части слоя для толщины слоя $h = 0,05$ м (см. рисунок 4.2) – 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 4.1) – 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 4.1) – 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 (4.2):

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

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

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

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

Предельное число циклов нагружения для каждого сезона по формуле (4.3):

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

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

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

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

Уровень работоспособности по сезонам по формуле (4.4):

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

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

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

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

Приведенный к весеннему периоду уровень работоспособности дорожной одежды по формуле (4.5):

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

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

Уровень работоспособности от перепадов температур по формуле (4.6):

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

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

Уровень работоспособности от попеременного замораживания-оттаивания по формуле (4.8):

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

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

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

Уровень повреждаемости от температуры по формуле (4.10):

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

Уровень повреждаемости от попеременного замораживания-оттаивания по формуле (4.11):

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

Общий приведенный уровень работоспособности:

– от температурных факторов по формуле (4.12):

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

– от попеременного замораживания-оттаивания по формуле (4.13):

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

Общий приведенный уровень работоспособности по формуле (4.14):

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

Общий уровень повреждаемости по формуле (4.15):

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

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.

Контрольные вопросы

1 Опишите современные научные подходы расчета нежестких дорожных одежд.

2 Какое современное ПО применяется для расчета нежестких дорожных одежд?

5 Практическая работа № 5. Расчет жестких дорожных одежд

Цель работы: получение знаний при расчете 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 дренирующего 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, разновидности 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 5.1.

Таблица 5.1 – 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

$$K_{np} \leq \frac{R_{pu}^{расч}}{\sigma_{pt}}, \quad (5.1)$$

где K_{np} – коэффициент прочности, определяемый в зависимости от категории дороги (см. таблицу 5.1);

$R_{pu}^{расч}$ – 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:

$$\sigma_{pt} = \frac{P \cdot 60 \cdot K_m \cdot K_{ysl} \cdot K_{шт}}{h^2 \cdot K_t} \cdot (0,592 - 0,2137 \lg \frac{R}{l_y}), \quad (5.2)$$

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

$K_{шт}$ – коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит с основанием; при наличии в поперечных швах штырей $K_{шт} = 1$, 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 5.2);

R – радиус отпечатка колеса;

l_y – упругая характеристика плиты, см.

Таблица 5.2 – 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

$$l_y = h^3 \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu_o^2)}{6E_o^3 \cdot (1 - \mu^2)}}, \quad (5.3)$$

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,

$$E_o^3 = \frac{E_i}{0,71 \sqrt{\frac{E_{общ}^{i+1}}{E_i} \cdot \arctg\left(\frac{1,35h_3}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{общ}^{i+1}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{D}{h_3}\right)}}, \quad (5.4)$$

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 $D = 2b + h$.

$$h = 2h_i \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_{общ}^{i+1}}}, \quad (5.5)$$

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^o определяют по формуле

$$E_o^o = E_{i-1} \cdot \frac{2,58h_i \sqrt[3]{E/6E_{i-1} + D}}{D_{ш}}, \quad (5.6)$$

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

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

$$A = 4 \cdot \left(\frac{R + R \cdot R_{pu}^{расч} \cdot B \cdot h^2}{60K_c \cdot P} \right), \quad (5.7)$$

толщину плиты h , см, – на основе формул (5.1) и (5.4):

$$h = \sqrt[3]{\frac{60K_c \cdot P}{B \cdot R_{pu}^{расч}} \cdot (0,25A - R)}, \quad (5.8)$$

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 5.3

Таблица 5.3 – 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	$B_{тб} 3,6$	$B_{тб} 4,0$	$B_{тб} 4,4$	$B_{тб} 3,6$	$B_{тб} 4,4$
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

Контрольные вопросы

- 1 Опишите современные научные подходы расчета жестких дорожных одежд.
- 2 Назовите основные дефекты, которым подвержены дорожные одежды с цементобетонным монолитным покрытием.

6 Практическая работа № 6. Определение площади и характеристик водосбора

Цель работы: получение навыков при определении площади и характеристик водосбора.

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 по одной и другой сторонам соседних водосборов.

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

Максимальный расчетный расход для ливневых вод определяется по формуле

$$Q_p = 0,56 \cdot \alpha_{1p} \cdot J_o^{0,3} \cdot F \cdot \delta \cdot \lambda, \quad (6.1)$$

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 (ВП) паводка, $\lambda = 1$ – при ВП = 1 ‰; $\lambda = 0,85$ – при ВП = 2 ‰; $\lambda = 0,77$ – при ВП = 3 ‰.

$$\alpha_{1p} = K / (F + 0,15)^{0,43}, \quad (6.2)$$

где K – поправочный коэффициент, величина которого зависит от рельефа (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – 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

$$\delta = 1 - 0,8 \cdot f_l - f_{бол} - f_{оз}, \quad (6.3)$$

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 легко дренирующими грунтами (пески, легкие супеси).

Максимальный расчетный расход от талых вод определяется по формуле

$$Q_p = \frac{0,56 h_n \cdot F}{(1 + \alpha) \cdot \gamma \cdot t_n} \cdot \delta_l \cdot \delta_o \cdot \lambda, \quad (6.4)$$

где F – площадь водосбора, км²;

h_n – слой стока, мм, в фазе подъема половодья расчетной вероятности 1 ‰ (таблица 6.2);

α – коэффициент формы гидрографа (таблица 6.3);

γ – коэффициент полноты гидрографа (см. таблицу 6.3);

t_n – продолжительность подъема половодья в сутки максимального снеготаяния, ч; является суммой из времени продолжительности водоотдачи на склоны t_c (см. таблицу 6.3) 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 6.4);

δ_b – коэффициент, учитывающий снижение расхода заболоченностью (см. таблицу 6.4).

Продолжительность стекания по логу t_l определяется по формуле

$$t_l = \frac{1,85L}{Q_3^{1/4} \cdot J_o^{1/3}}, \quad (6.5)$$

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 6.2 – 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 6.3 – Зависимость коэффициентов α , γ , t_c от региона

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

Таблица 6.4 – 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
Значение коэф- фициента 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 6.2 находят величину h_n .
- 2 По таблицам 6.3 и 6.4 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 $Q_3 = Q_p$.

Контрольные вопросы

1 Как определить площадь живого сечения, если ширина по дну кювета равна 0,4 м, заложение откосов (внутренних и внешних) 1: 1,5, а глубина кювета $h_k = 0,7$ м?

2 Какие ТНПА используются при определении площади и характеристик водосбора?

7 Практическая работа № 7. Расчет размеров водопропускных сооружений

Цель работы: получение навыков при выполнении расчетов размеров водопропускных сооружений.

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).

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

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

$$h_{BB} \leq 1,2D, \quad (7.1)$$

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

$$D = Q / m \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2}, \quad (7.2)$$

где Q – расчетный расход, м³/с;

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

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

H_o – 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

$$L_T = B_n + 2m \cdot H_n. \quad (7.3)$$

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

$$L_T = B_n + 2m \cdot H_n + 2(m + 0,25) \cdot (H_n - 6). \quad (7.4)$$

При наличии оголовков длина трубы

$$L_T = B_n + 2m \cdot H_n - 2m \cdot H_o + 2p, \quad (7.5)$$

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

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

В качестве исходных принять данные, представленные в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Исходные данные

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

Контрольные вопросы

1 Какие ТНПА используются при расчете размеров водопропускных сооружений?

2 Применение современного ПО при расчете размеров водопропускных сооружений.

8 Практическая работа № 8. Изучение нормативной литературы

Цель работы: ознакомиться с действующими нормативными документами и основными понятиями закона РБ о техническом нормировании.

Закон Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации» № 262-З вступил в силу 5 января 2004 г.

Настоящий Закон направлен на регулирование отношений, возникающих при разработке, установлении и применении технических требований к продукции, иным объектам технического нормирования и объектам стандартизации, других связанных с ними отношений, а также на определение правовых и организационных основ технического нормирования и стандартизации, единой государственной политики в этой области.

Используя Национальный правовой интернет - портал Республики Беларусь и систему КонсультантПлюс, ознакомиться с законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации» и письменно дать определения следующим понятиям: безопасность продукции, международный стандарт, национальный стандарт, стандартизация, техническое регулирование, технический регламент.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите принципы технического нормирования.
- 2 Назовите цели принятия технических норм.
- 3 Какие существуют виды технических регламентов?
- 4 Назовите основные цели и принципы стандартизации.
- 5 Какие документы в области стандартизации используются на территории РБ.
- 6 Назовите правила разработки и утверждения национальных стандартов.

9 Практическая работа № 9. Обработка результатов обследования

Цель работы: получение навыков при обработке результатов обследования водопропускных труб.

Обследование трубопроводов

Неисправности разнообразных инженерных систем могут привести к затоплению близлежащих территорий, проседанию грунта, провалам дорожного покрытия, другим необратимым последствиям. Среди наиболее частых поломок: разгерметизация стыков, трещины, засоры, разрушение коллекторов, колодцев и ливневых стоков.

Для предотвращения аварийных ситуаций коммунальные хозяйства крупных городов регулярно проводят диагностику водопроводных и канализационных систем для оценки их состояния.

Перед любой из видов проверок инженерные сооружения нуждаются в предварительной подготовке. Трубы тщательно очищают от ила, отложений, других загрязнений.

Телеинспекция трубопроводов – одна из методик внутренней проверки инженерных систем. Миниатюрная камера, оснащенная специальными датчиками, помещается во внутреннюю полость исследуемого объекта, полученные изображения передаются на монитор. Пользователь может изучать конструкции в реальном времени, а при необходимости осуществлять фото- и видеозаписи.

Особенности наружной диагностики

Специалисты используют несколько распространенных методик наружного технического обследования трубопроводов. Среди них:

- наружное обследование: включает определение фактического расположения конструкции, состояния изоляции, уровня коррозионной агрессивности, технического коридора, охранной зоны, наличия блуждающих токов;
- визуально-измерительный контроль: осмотр сварных швов, поверхности труб, изоляционного покрытия с использованием измерительных и оптических приборов;
- ультразвуковая толщинометрия (выявление утоньшения стенок труб);
- дефектоскопия с использованием звуковых волн: определение повреждений сварных швов;
- магнитопопорошковый контроль (помогает найти малейшие трещины);
- определение твердости металла (предел текучести материалов, использованных для изготовления).

Полученные результаты обязательно протокольно оформляются, ответственные лица получают необходимые рекомендации для дальнейшей безопасной эксплуатации.

Требуется изучить основные ТНПА по тематике практического занятия, выполнить обследование и обработку результатов обследования водопропускной трубы (назначается индивидуально преподавателем), провести анализ современных методов обследования водопропускных сооружений.

Контрольные вопросы

1 Какие ТНПА используются при выполнении обследования и обработки результатов обследования водопропускных труб?

2 Назовите наиболее эффективные методы обследования водопропускных сооружений.

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.