

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»
ВОЛЖСКИЙ ФИЛИАЛ**

Кафедра Строительство дорог и инженерная экология

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Методические указания по выполнению курсового проекта
по дисциплине
«Проектирование дорожных одежд и искусственных сооружений»
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»
по профилю «Автомобильные дороги»
всех форм обучения

Чебоксары, 2025

Оглавление:

	Стр.
Раздел 1. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	3
1.1. РАСЧЕТ ТРУБЫ	3
1.1.1. Определение характеристик площади водосборного бассейна сооружения	4
1.1.2. Определение расчетного расхода	5
Расчет максимального расхода ливневых вод	5
Расчет максимального расхода талых вод	7
1.1.3. Расчет отверстия трубы при аккумуляции воды перед сооружением	10
1.1.4. Определение режима работы труб	19
1.1.5. Расчет скорости протекания воды в трубе. Определение скорости на выходе из трубы	22
1.1.6. Выбор отверстия трубы	23
1.1.7. Расчет минимальной высоты насыпи у трубы	23
1.1.8. Проектирование укрепления за трубой. Длина плоского укрепления за трубой	24
1.1.9. Определение длины трубы	28
1.2. РАСЧЕТ МАЛОГО МОСТА	31
1.2.1. Определение бытовой глубины	31
1.2.2. Установление схемы протекания воды под мостом	33
1.2.3. Расчет отверстия моста	34
1.2.4. Определение минимальной высоты моста	35
1.2.5. Определение длины моста	37
1.2.6. Укрепление у моста	38
РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	40
2.1. Виды дорожных одежд и конструктивные слои	40
2.2. Конструирование покрытий дорожной одежды	41
2.3. Конструирование оснований дорожной одежды	46
2.4. Расчетные параметры подвижной нагрузки на дорожные одежды	48
2.5. Критерии надёжности дорожной одежды	54
2.6. Характеристики материалов слоёв дорожной одежды	55
2.7. Оценка прочности дорожных одежд по допустимому упругому прогибу	66
2.8. Расчет по условию сдвигоустойчивости слоёв с пониженной сопротивляемостью сдвигу	70
2.9. Расчет на растяжение при изгибе в монолитных слоях	76
2.10. Расчет дорожной одежды на морозоустойчивость	80
Литература	90
Приложение 1. Карта ливневых районов	91
Приложение 2. Карта среднего многолетнего слоя стока талых вод	92
Приложение 3. Карта коэффициента вариации стока половодий	93
Приложение 4. Примеры моста	94
Приложение 5. Карта дорожно-климатических зон и подзон	95
Приложение 6. Пример расчета конструкции дорожной одежды в программном комплексе IndorPavement для дороги III технической категории в Липецкой области	96

Раздел 1. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В местах, где трасса дороги пересекает: естественные понижения местности, логии, тальвеги, речные долины, по которым периодически (от ливней, таяния снега) или постоянно (ручьи, реки) течет вода, для ее пропуска устраивают искусственные сооружения. Выделяют: малые сооружения длиной до 30 м (трубы и мосты), средние (мосты длиной 30-100 м) и большие (мосты длиной более 100 м).

Трубы являются основным типом водопропускных сооружений на автомобильных дорогах на водотоках с расходом до 20-30 м³/с при отсутствии ледохода, так как они могут свободно располагаться при любых сочетаниях продольного профиля и плана дороги, при любых высотах насыпи с сохранением постоянного типа покрытия на протяжении дороги. Поэтому количество труб на автомобильных дорогах составляет 96% от общего количество водопропускных сооружений на дорогах.

При проектировании водопропускных сооружений необходимо определить расчетный (максимальный) расход воды.

Расходы в зависимости от природных условий и характеристики водотока непрерывно изменяются. Поэтому за расчетный принимается наибольший расход, повторяющийся 1 раз за 100, 50 лет или 33 года в зависимости от капитальности сооружения и категории дороги.

Расчетный расход для больших водотоков определяется на основании материалов многолетних наблюдений за проходом паводков, а для малых водотоков – по формулам, учитывающим основные факторы, влияющие на формирование стока. (площадь бассейна, сток с которого притекает вода к мосту или трубе, грунт, на основание которого устанавливается потеря осадков на впитывание, рельеф местности, растительность, наличие озер, болот, влияющих на задержание стока).

К примеру, для определения отверстия водопропускного сооружения методом *математической статистики* в задании должны быть даны наивысшие годовые уровни воды (по условным данным водомерного поста) не менее чем за 15-20 лет. Вероятность превышения паводка устанавливают в соответствии с требованиями строительных норм. При заданном живом сечении и расчетном горизонте величина отверстия большого моста может быть определена по методу *гидравлических эквивалентов или морфологических характеристик*. Широкое применение находит метод проф. О.В.Андреева, основанный на *балансе наносов*.

Мосты проектируются в следующих случаях:

- при пересечении периодически действующих водотоков с большими расходами воды, пропустить которые трубы не могут;
- при пересечении оросительных и осушительных каналов;

На водотоках, имеющих постоянный расход даже в зимнее время при январской изотерме ниже –13°С, рекомендуется проектировать мосты, т.к. в случае промерзания водотока до дна образовавшаяся наледь может закупорить трубу, повредить и разрушить ее. На постоянных водотоках и суходолах с площадью водосбора 20 км² и более в дружную весну можно ожидать ледоход, в этих случаях необходимы мосты.

Расчет отверстий малых мостов, т.е. при площади водосборного бассейна менее 100 км² ведется в следующей последовательности:

- определение бытовой глубины протекания воды в нестепенном русле водотока;
- установление схемы протекания воды под мостом;
- определение величины отверстия моста;
- уточнение расчетных данных применительно к типовым размерам искусственных сооружений;
- назначение высоты насыпи и высоты моста;
- определение длины моста.

Мосты длиной до 30 м относят к малым водопропускным сооружениям.

1.1.РАСЧЕТ ТРУБЫ

Исходные данные (пример)

Район проектирования *Рязанская область*;

Месторасположение трубы - *ПК11+20 (по продольному профилю)*;

Категория дороги - *II*;

Расчетная вероятность превышения $P=2\%$ (I категория – 1%

II и III – 2%, IV и V – 3%)

Номер ливневого района - *6*(карта ливневых районов);

Площадь бассейна $F = 0,24 \text{ км}^2$ (по карте задания);

Средний уклон лога бассейна $i_{\text{л}}=0,032$;

Уклон лога сооружения $i_{\text{соор}}=0,018$;

Длина лога бассейна $L = 0,4 \text{ км}$ (по карте);

Заложение склонов лога у сооружения $m_1=0.008$, $m_2=0.016$ (расчет по отметкам земли продольного профиля);

залесенность бассейна $\delta_{\text{л}}=0\%$ (по карте задания)

заозерность и заболоченность бассейна $\delta_0=3\%$ (по карте задания);

тип почв -*суглинок*

Например. Номер ливневого района для Рязанской области определяется (рис.1 прил.1) и соответствует – 6.

Место расположения водопропускного сооружения определяется по продольному профилю проектируемого участка дороги и записывается в ПК.

Категория дороги принимается по заданию.

Расчетная вероятность превышения паводка принимается в соответствии с категорией дороги.

Средний уклон лога бассейна $i_{\text{л}}$, уклон лога сооружения $i_{\text{соор}}$, длина лога бассейна L определяются по топографической карте участка проектирования.

1.1.1.Определение характеристик площади водосборного бассейна сооружения

Площадь водосборного бассейна ($F=0,24 \text{ км}^2$) находят по топографической карте в горизонталях, очерчивая ее по водораздельным линиям (рис.1а).

Определяем длину лога ($L=0,4 \text{ км}$), измеряя по оси тальвега (пунктирная линия рис.1а). Расстояние центра тяжести бассейна до сооружения определяем по плану бассейна в зависимости от его конфигурации:

- при треугольном очертании бассейна $L_0=L/3$;

-при прямоугольном очертании бассейна, его расстояние примерно равно половине длины бассейна $L_0=L/2$;

- при прямоугольном очертании с вершиной у трассы $L_0=2L/3$.

Средний уклон главного лога ($i_{\text{л}}$) определяется по разности отметок между повышенной точкой лога и местом пересечения водотока трассой линейного сооружения, которую делят на длину лога ($L=0,4 \text{ км}$). Средний уклон главного лога выражаем в промилле ($i_{\text{л}}=32\text{‰}$) по формуле (1.1):

$$i_{\text{л}} = \frac{H_{\text{г}} - H_{\text{с}}}{L_{\text{л}}} \quad (1.1)$$

где: $H_{\text{г}}$ – отметка на границе водосборного бассейна; $H_{\text{с}}$ – отметка лога у сооружения

Уклон лога у сооружения ($i_{\text{соор}}$), необходимый для определения бытовых условий водотока. Определяется как уклон между точками на участке длиной 300 м (200 м выше и 100 ниже сооружения); можно взять и другие расстояния, но соотношение должно быть 2 к

$$1 \text{ (} i_{\text{соор}}=18\text{‰)} \text{ по формуле (1.2): } i_{\text{с}} = \frac{H_{\text{в}} - H_{\text{н}}}{100} \quad (1.2)$$

Гидравлические характеристики определяются для трубы и малого моста.

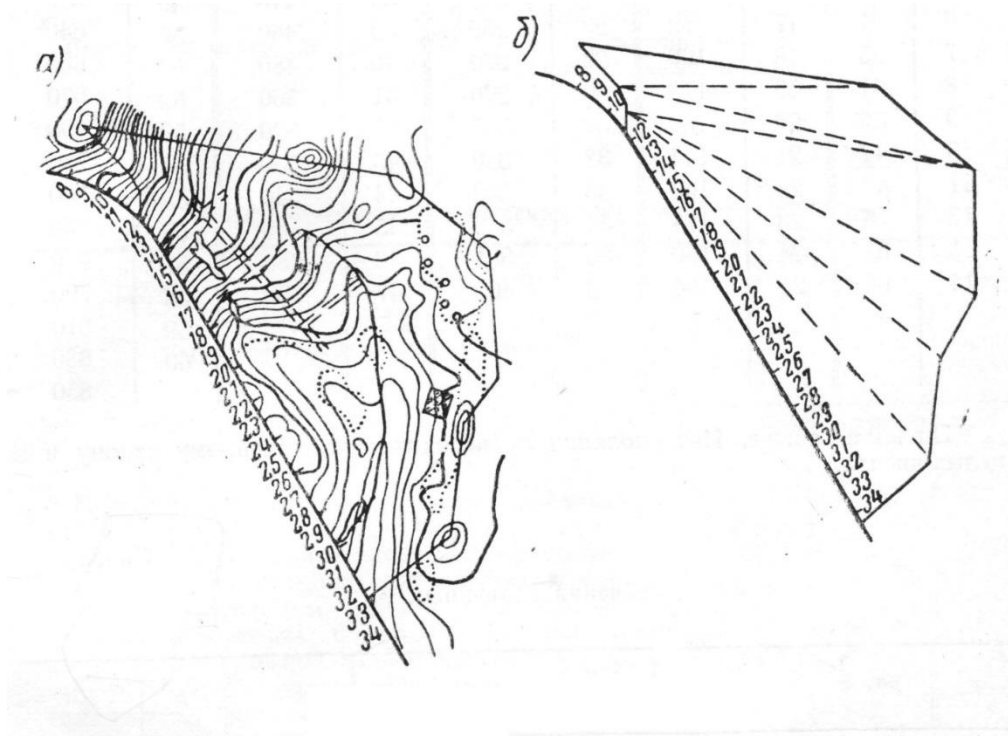


Рис.1.1 План бассейна стока.
а) контур водосборного бассейна, б) площадь бассейна.

1.1.2.Определение расчетного расхода

Расчет максимального расхода ливневых вод

Максимальный расход ливневых вод определяется для моста и трубы в соответствии с площадью водосборного бассейна для каждого сооружения, которое вычисляется с помощью топографической карты, местоположения сооружения определяется по продольному профилю. Вычисление производят по формуле (1.3), коэффициенты входящие в формулу определяются в соответствии с районом проектирования по таблицам:

$$Q_{\text{л}} = 16,7 * a_{\text{ч}} * F * K_{\text{т}} * \alpha * \varphi, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.3)$$

где $K_{\text{т}}$ – коэффициент перехода от интенсивность ливня часовой продолжительности к интенсивности ливня расчетной продолжительности табл. 2[1, с. 211], зависящий от длины водосбора L и скорости добегания волны от наиболее удаленной точки водосбора до створа дороги (для обычных задернованных поверхностей бассейна скорость добегания зависит от среднего уклона лога $i_{\text{л}}$;

$a_{\text{ч}}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности в зависимости от ливневого района (табл.1); F – площади водотока, км^2 ; α – коэффициент потерь стока, зависящий от вида и характера поверхности бассейна (табл. 3); φ – коэффициент редукции максимального ливневого стока, зависит от площади водостока, определяется по формуле (1.4):

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10 * F}}, \text{ при этом для } F \leq 0.1 \text{ км}^2 \varphi = 1 \quad (1.4)$$

Для рассматриваемого примера

$a_{\text{ч}} = 0,81 \text{ мм/мин}$ (выделено жирным, курсивом);

$K_{\text{т}} = 5,10$;

$\alpha = 0,85$;

$\varphi = 0,8$;

$Q_{\text{л}} = 16,7 * 0,81 * 0,24 * 5,10 * 0,85 * 0,8 = 1,31 \text{ м}^3/\text{с}.$

Максимальный расход ливневых вод составляет $Q_{\text{л}} = 11,3 \text{ м}^3/\text{с}.$

Таблица 1.1

№ ливневого района	Интенсивность ливня часовой продолжительности							
	ВП, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
Часовая интенсивность дождя, мм/мин								
1	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,70	0,95	01,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	01,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,4ë	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

Таблица 1.2

Коэффициент перехода от интенсивность ливня часовой продолжительности
к интенсивности ливня расчетной продолжительности, k_t

L, км	Уклон лога, $i_{\text{л}}$							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
	Значения k_t							
0,15	4,25							
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,76	3,93			5,24		
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,0	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,5	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
2,0	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	3,27
2,5	0,63	0,92	1,37	12,02	2,26	2,44	2,65	2,80
3,0	0,56	0,82	1,21	1,79	2,0	2,16	2,34	2,49
3,5	0,50	0,74	1,10	1,62	1,81	1,95	2,12	2,31
4,0	0,26	0,68	1,0	1,48	1,65	1,78	1,94	2,11
4,5	0,42	0,62	0,93	1,37	1,53	1,65	1,78	1,95
5,0	0,40	0,58	0,86	1,27	1,42	1,54	1,67	1,82
6,0	0,35	0,52	0,76	1,13	1,26	1,36	1,48	1,68
7,0	0,32	0,47	0,69	1,02	1,14	1,23	1,33	1,45
8,0	0,29	0,43	0,63	0,93	1,04	1,12	1,22	1,33
9,0	0,7	0,39	0,58	0,86	0,96	1,04	1,13	1,23
10,0	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14
11,0	0,23	0,34	0,51	0,75	0,84	0,91	0,98	1,07
12,0	0,22	0,32	0,48	0,71	0,79	0,86	0,93	0,99
13,0	0,21	0,31	0,46	0,67	0,75	0,81	0,88	0,96
14,0	0,20	0,29	0,43	0,64	0,72	0,79	0,84	0,91
15,0	0,19	0,28	0,41	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87
20,0	0,1ë6	0,23	0,34	0,50	0,56	0,61	0,69	0,72

Таблица 1.3

Коэффициент потерь стока, α

Вид и характер поверхности	Коэффициент α при F, км ²		
	$\leq 0,1$	0,1-10	10-100
Асфальт, скала без трещин, бетон	1	1	1
Жирноглинистые почвы, такры и такрывые почвы	0,80-0,90	0,65-0,95	0,65-0,90
Суглинки, подзолы, подзолистые и серые лесные суглинки, сероземы тяжелосуглинистые, тундровые и болотные почвы	0,70-0,90	0,55-0,90	0,50-0,75
Чернозем обычный и южный, светло-каштановые почвы, лесс, карбонатные почвы, темно-каштановые почвы	0,55-0,80	0,40-0,75	0,35-0,65
Супеси, бурые и серо-бурые пустынно-степные супесчаные и песчаные	0,35-0,60	0,20-0,55	0,20-0,45
Песчаные, гравелистые, рыхлые каменистые почвы	0,25	0,15-0,20	0,10

Объем стока ливневых вод определяется по формуле (1.5):

$$W = \frac{60000 * a_q * F * \varphi}{\sqrt{K_t}}, \text{ м}^3 \quad (1.5)$$

$$W = \frac{60000 * 0.81 * 0.8}{\sqrt{5.1}} = 4132 \text{ м}^3$$

Расчет максимального расхода талых вод

В соответствии с инструкцией СН 435-72 «Указания по определению гидрологических характеристик» максимальный расход талых вод определяется по редуccionной формуле ГГИ (Государственный гидрологический институт) по формуле (1.6), коэффициенты, которые определяются в соответствии с районом проектирования по таблицам:

$$Q_T = \frac{K_0 * h_p * F}{(1 + F)^n} * \delta_1 * \delta_2, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.6)$$

где K_0 – коэффициент дружности половодья (табл. 4), [1, с. 213]. n – показатель степени зависящий от рельефа и климатических условий и назначаемый (табл.1.4), [1, с. 213];

Таблица 1.4

Значения коэффициента дружности половодья

Географический район	Значение n	Значение k_0	Географический район	Значение n	Значение k_0
Лесотундровая зона			Зона засушливых степей и полупустынь		
Европейская территория России и Восточная Сибирь	0,17	0,010-0,006	Западный и Центральный Казахстан	0,35	0,060-0,040
Западная Сибирь	0,25	0,103-0,010	Горные районы		
Лесостепная и степная зоны			Урал	0,15	0,025-0,016
Европейская территория России	0,25	0,020-0,012	Карпаты	0,15	0,0045
Северный Кавказ	0,25	0,030-0,025	Алтай	0,15	0,0025-0,0015
Западная Сибирь	0,25	0,030-0,015	Камчатка	0,15	0,0010
			Сахалин	0,15	0,0014-0,0020

h_p – расчетный слой суммарного стока, мм заданной вероятности превышения (ВП) определяется по формуле (7): $h_p = h_{cp} * K_p$, мм (7)

где h_{cp} – высота среднего многолетнего слоя стока, определяемая на основе карты изолиний [прил. 2; 1, с. 214], составленной для бассейнов площадью более 100 км² (для европейской части России) и более 1000 км² (для азиатской части России).

Для меньших значений площадей вводятся поправочные коэффициенты: 1,1 - при холмистом рельефе и глинистых почвах и 0,9 - при плоском рельефе и песчаных почвах. При особо больших потерях стока (боровые пески) вводится коэффициент 0,5 в засушливых районах для площадей $F \leq 3000$ км² поправочные коэффициенты следует вводить согласно данным (табл. 5), [1, с. 216]

K_p – модульный коэффициент, характеризующий отклонение расчетного значения h_{cp} при заданной ВП, зависит от параметров кривой распределения данных наблюдений: коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s слоя стока.

Таблица 5

Поправочные коэффициенты k

Средний слой стока, снятый с карты, мм	Поправочные коэффициенты k при $F \leq 3000$ км ²				
	10	10-100	100-500	500-1000	1000-3000
Менее 100	3,5	2,3	1,6	1,6	1,0
От 100 до 150	2,5	1,6	1,4	1,2	1,0
От 150-300	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0

Коэффициент вариации (изменчивости) C_v показывает степень отклонения ряда наблюдений от его среднего значения за многолетний период, а степень несимметричности в распределении данных характеризуется коэффициентом асимметрии C_s слоя стока.

Значения h_{cp} ; C_s ; C_v являются тремя основными параметрами для характеристики закона распределения данных наблюдений и учета их в гидрологических расчетах.

Коэффициент C_v определяется на основании карты изолиний прил. 3 [1, с. 215] с учетом, что для бассейнов площадью $F \leq 200$ км² его значения умножают на следующие коэффициенты:

Площадь бассейна, км² 0-50 51-100 101-150 151-200

Коэффициент уменьшения 1,25 1,20 1,15 1,05

Значения модульных коэффициентов C_v , C_s определяются по графикам (рис. 2,а) [1, с. 216], в зависимости от следующих параметров:

- коэффициента вариации C_v (рассчитывается путем умножения взятого по карте изолиний C_{vh} , (прил.3) [1, с. 216] на 1,25);

расчетной вероятности превышения P ;

- коэффициента асимметрии C_s , значение которого для равнинных водосборов принимают $C_s = 2 * C_v$, (рис.2,а) для северо-запада и $C_s = 3 * C_v$ (рис. 2,б) для северо-востока России.

δ_1 - коэффициент, учитывающий снижение расхода в зависимости от залесенности бассейна определяется по формуле (8):

$$\delta_1 = 1 - \gamma_{лб} * F_{лб} / F, \quad (8)$$

где $F_{лб}$ – площадь части водосбора, занятой лесом или болотом (при отсутствии залесенности бассейна $\delta_1 = 1,0$),

$\gamma_{лб}$ – коэффициент снижения стока, назначаемый на основании опытных данных в зависимости от характера почвы и растительности:

- при густом лесу на суглинках $\gamma_{лб} = 0,06-0,15$;
- на супесчаных грунтах $\gamma_{лб} = 0,15- 0,20$;
- на мерзлых грунтах $\gamma_{лб} = 0,02- 0,04$;
- на болотах $\gamma_{лб} = 0,10- 0,17$.

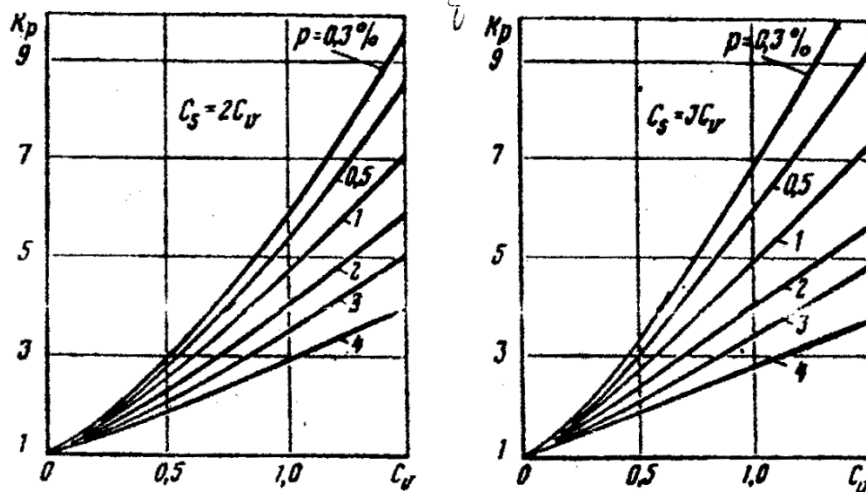


Рис.1.2. Кривые модульных коэффициентов слоев стока

δ_2 - коэффициент, учитывающий снижение расхода в зависимости от озерности и заболоченности бассейна [1, с. 213]. Для малых водосборов, особенно при учете озерности, коэффициент $\gamma_{\text{лб}}$ можно принимать равным 1, так как болота на малых бассейнах могут быть осушены, а лес на незначительных площадях может быть вырублен. Определяется по значению β , формула (9):

$$\beta = 5 * \frac{\delta_{\text{л}}}{100} + 10 * \frac{\delta_{\text{б}}}{100} + 1; \quad (9)$$

Например:

для трубы в Свердловской области

$K_0 = 0,016$;

$n = 0,25$

$h_{\text{ср}} = 499 \text{ мм}$

$F = 0,23 \text{ км}^2$

$C_{\text{vh}} = 0,40$ (по карте изолиний коэффициента вариации);

По рис.8 определим $C_v = 0,50 \cdot 1,25 = 0,625$;

$C_s = 2 \cdot C_v = 1,25$ (для равнинного водосбора);

$K_p = 3,78$ (по рис. 8);

$h_p = 120 \cdot 1,1 = 132 \text{ мм}$

Тогда, максимальный расход талых вод:

$$Q_{\text{т}} = \frac{K_0 \cdot h_p \cdot F}{(1 + F)^n} \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 =$$

$$= \frac{0,016 \cdot 499 \cdot 0,23}{(1 + 0,23)^{0,25}} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,74 \text{ м}^3 / \text{с}$$

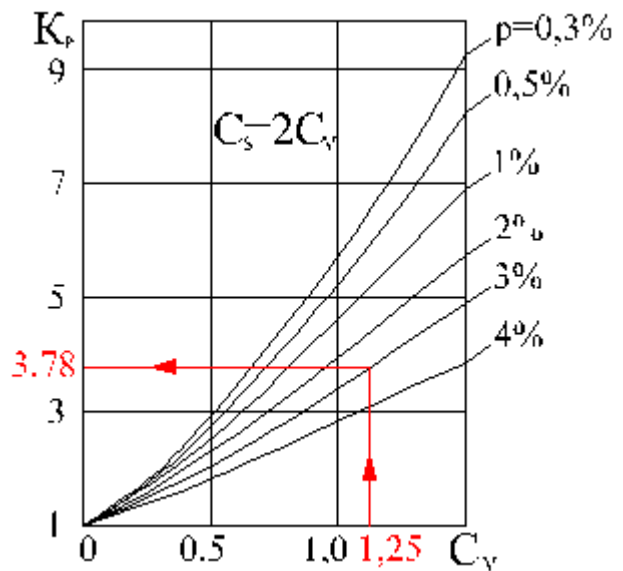


Рис. График распределения коэффициентов вариации и асимметрии (для примера)

В качестве расчетного расхода принимается наибольший расход по максимальному расходу.

Например :

В нашем примере наибольшим является расход ливневых вод $Q_{\text{л}} = 11,3 \text{ м}^3/\text{с}$, его и принимается для дальнейших расчетов - $Q_{\text{расч}} = 11,3 \text{ м}^3/\text{с}$

1.1.3. Расчет отверстия трубы при аккумуляции воды перед сооружением

Вода, поступающая в единицу времени к водопропускному сооружению с водосборного бассейна, частично проходит через сооружения, а частично задерживается (аккумулируется) перед ним, в результате его перед насыпью образуется пруд, повышается уровень воды перед сооружением (рис.1.3).

Аккумуляцию стока целесообразно учитывать:

- при устройстве малых искусственных водопропускных сооружений на равнинных водотоках, имеющих сравнительно широкие разливы высоких вод, развалистые русла и площади водосборного бассейна до 10-12 км²;
- при уклонах логов до 0.005;
- при возможности уменьшения отверстия сооружения за счет уменьшения расчетных величин расчетов воды на 20%

Аккумуляция (накопление) воды перед искусственным сооружением (ИС) позволяет за проектировать трубу или малый мост с меньшим отверстием и тем самым сократить затраты на его создание. В этом случае расход воды, который может пропустить искусственное сооружение $Q_{сбр} < Q_{р. \max}$ и перед сооружением начинает образовывать пруд.

Создание пруда перед сооружением может привести к существенному уменьшению наибольшего расхода воды, проходящей через сооружение.

По строительным нормам при нормальных условиях эксплуатации допускается общее снижение расходов максимально в три раза, т.е. расчетный расход для сооружения не должен быть меньше, чем 3% от расчетного расхода с водосбора.

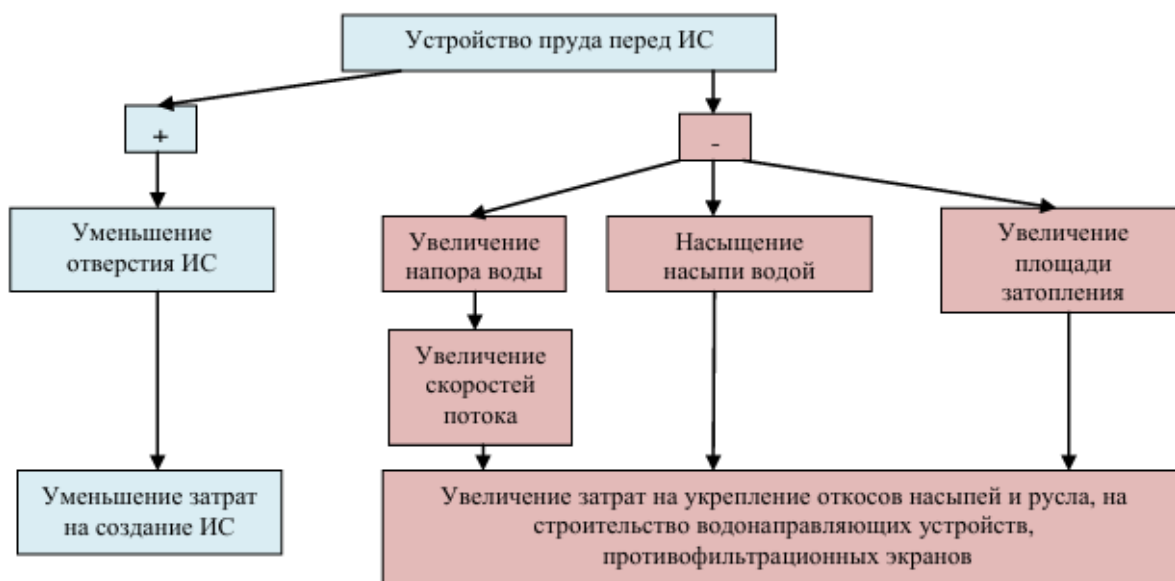


Рис.1.3. Последствия устройства пруда перед искусственным сооружением

Аккумуляцию стока не учитывают:

- при расчетах отверстий средних и больших мостов;
- при проходе трассы у населенных пунктов и по ценным угодьям, затопление которых подпертыми водами половодий не допустимо;
- при узких, сосредоточенных и безпойменных руслах водотоков, в том числе при устройстве труб малых отверстий, на канавах с заглубленным руслом;
- при проектировании железобетонных труб диаметром 0,75 м.

Как правило, *расход с учетом аккумуляции воды перед сооружений определяют только для ливневого стока.*

После того, как определен максимальный расход, необходимо **выбрать тип водопропускного сооружения, исходя из следующих основных условий:**

- *надежность и долговечность сооружения в эксплуатации;*
- *минимальная стоимость сооружения;*
- *обеспеченность водопропускной способности,*
- *минимальная высота насыпи;*
- *минимальный срок строительства дорог,*
- *наличие необходимых ресурсов;*
- *максимальная унификация размеров и отверстий.*

Первостепенное значение имеет надежность и долговечность сооружения в эксплуатации при минимальной стоимости строительства.

При проектировании малых водопропускных сооружений во всех случаях следует стремиться к устройству труб в первую очередь круглых одноочковых и многоочковых, как наименее трудоемких в строительстве.

При равной пропускной способности трубы обычно дешевле мостов, требуют меньше материалов. Трубы имеют еще и то преимущество, что при их применении сохраняется непрерывности земляного полотна и повышается безопасность движения на дороге.

Поэтому в тальвегах с малыми расходами воды желательно укладывать трубы, за исключением тех случаев, когда сооружение возводят на болоте или на водотоке с постоянным расходом воды зимой. На постоянных водотоках трубы можно применять при отсутствии налетных явлений, в климатических районах с январской изотермой не ниже 13°C, т.е. в южных районах страны.

Трубы в эксплуатации предпочтительнее по сравнению с мостами особенно на участках дороги с вогнутым профилем. При наличии ледохода или корчехода применение труб не допускается.

При пересечении глубоких узких тальвегов оврагов целесообразны напорные трубы, т.к. значительное повышение горизонта водотока не вызовет затопление близлежащих населенных пунктов и полезных угодий, не приведет к необходимости высоких насыпи на большом протяжении. При мелких тальвегах с пологими склонами предпочтительнее безнапорные и полупонапорные трубы, не вызывающие значительного увеличения высоты насыпи. Подробнее о режиме протекания воды в трубах сказано выше.

Для выявления оптимального варианта строительства водопропускного сооружения производится расчет нескольких вариантов круглых труб, в том числе двухочковых, с целью их дальнейшего сравнения и выбора наиболее рационального.

Если в качестве расчетного расхода принят максимальный расход ливневых вод, расчет отверстия трубы ведется с учетом аккумуляции и производится графоаналитическим способом.

В поперечном профиле водосборный бассейн обычно моделируется треугольной формой с коэффициентами заложения склонов 1: m_1 и 1: m_2 (рис.1.4). Еще один показатель, характеризующий объемные параметры бассейна, – коэффициент формы лога.

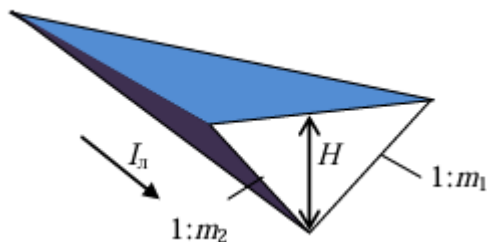
Для учета аккумуляции необходимо определить:

- 1) по живому сечению (рис.1.4,б) вычисляется коэффициент формы лога по формуле (1.10)

$$K = \frac{m_1 + m_2}{6 \cdot i_{\text{соп}} \cdot W} \quad (10)$$

$$m_1 + m_2 = \frac{H_1 - H_0}{l_1} + \frac{H_2 - H_0}{l_2} \quad (11)$$

где: l_1 и l_2 - расстояния, определяемые по продольному профилю от дна лога до точки с максимальной отметкой вправо и влево. H_1 и H_2 - максимальные отметки по верхнему краю лога, H_0 - отметка дна лога



4а. Геометрическая модель лога

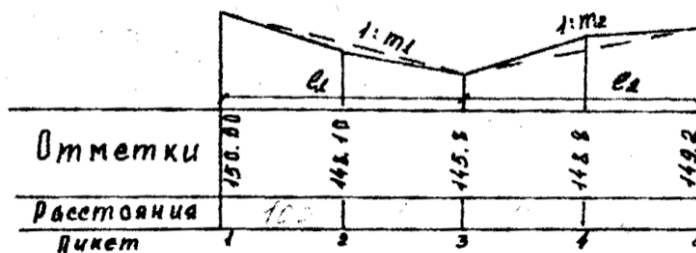


Рис.4б. Живое сечение лога

Для построения графика прямой аккумуляции находят соотношения для первого отрезка прямой аккумуляции.

Положение первой точки определяют по соотношению $0,62 \times Q_{\text{л}}$ и откладывают на графике пропускной способности труб (на оси абсцисс).

Вторую точку первого отрезка определяют по соотношению W/a и откладывают на графике пропускной способности труб (на оси ординат).

Соотношение для второго отрезка прямой аккумуляции находят положение точки 3, которое соответствует значению $Q_{\text{л}}$, отложенному на графике пропускной способности труб (на оси абсцисс).

Положение 4 точки прямой аккумуляции второго отрезка прямой аккумуляции определяют по соотношению $0,7W/a$, значение которого откладывают на графике пропускной способности труб (на оси ординат).

Затем на графике пропускной способности круглых труб (рис.4) определяют расход с учетом аккумуляции и подпор воды перед трубами.

На графике (рис. 5) заданы кривые для железобетонных труб диаметра 1,0, 1,25, 1,5. По полученным координатам строим ломаные линии $Q = f(H^3)$ отдельно для одно - и двухчковых труб, соединяя верхние части пересекаемых отрезков.

Точки пересечения этих линий с кривыми пропускной способности определяют значение расхода воды, проходящего через сооружение, и соответствующее ему значение H^3 .

Вычисляя кубический корень из H^3 , получаем подпор H .

Пользуясь графиком определяют максимальный расход с учетом аккумуляции, который может пропустить труба.

Диаметры труб определяются также по графику, и для каждой трубы определяется максимальный расход. Тип входного оголовка, подпор и скорость течения воды определяются с помощью таблиц (табл. 5,6)

Если в качестве расчётного расхода принят максимальный расход талых вод, расчёт отверстия трубы ведётся без учёта аккумуляции с определением величины подпора H непосредственно с графика пропускной способности труб (рис. 5,6).

Геометрические размеры круглых и прямоугольных труб приведены (табл. 8-9)

Например:

Для Свердловской области

Координаты для построения верхнего отрезка:

1-я точка: $H^3=0$; $Q=Q_{\text{л}} \cdot 0,62=4,35 \cdot 0,62=2,7 \text{ м}^3/\text{с}$;

2-я точка: $H^3=a$, определяется по формуле (42); $Q=0$;

$$a = \frac{6 \cdot 0,017 \cdot 4571}{27 + 57} = 0,18 \text{ м}^3$$

Координаты для построения нижнего отрезка:

3-я точка: $H^3=0$; $Q=Q_{\text{л}}=4,35\text{ м}^3/\text{с}$;

4-я точка: $H^3=0,7 \cdot a=0,7 \cdot 0,18=0,13\text{ м}^3$; $Q=0$.

$H^3, \text{ м}^3$

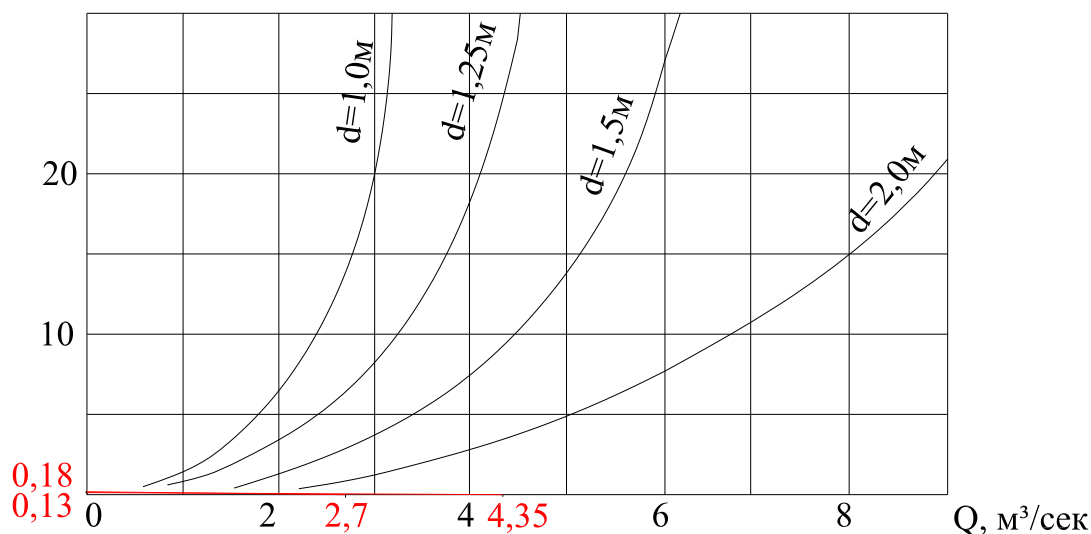


Рис. График пропускной способности круглых железобетонных труб (для примера)

В типовых проектах разработаны конструкции железобетонных круглых и прямоугольных труб со следующими размерами отверстия в свету:

- круглые трубы диаметром: 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 и 2,0 м.
- прямоугольные трубы (ширина b х высота h): 2,0 х 2,0; 2,5 х 2,0; 3,0 х 2,5; 4,0 х 2,5.

Для типовых труб имеются таблицы пропускной способности, в которых приведены значения сбросного расхода и соответствующие ему напоры воды в трубе.

Для нестандартных труб, а также труб, установленных на косогоре, необходимо проводить индивидуальные расчеты.

Круглые трубы с малыми отверстиями часто засоряются или заиливаются, поэтому случаи назначения минимальных размеров отверстий регламентируются строительными нормами.

Таблица 5

Назначение диаметров отверстий круглых труб

Диаметр, м	Категория дороги	Длина трубы, м	Дополнительные условия
0,5	Съезды		При устройстве в пределах трубы быстротока с уклоном дна не менее 10‰, и ограждений на входе
0,75	Съезды IV, V	До 15	Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 выше -40°C
1,0	III-V	До 20	
1,25	I-V	20 м и более	
1,5	I-V	20 м и более	Ограничений нет
2,0			

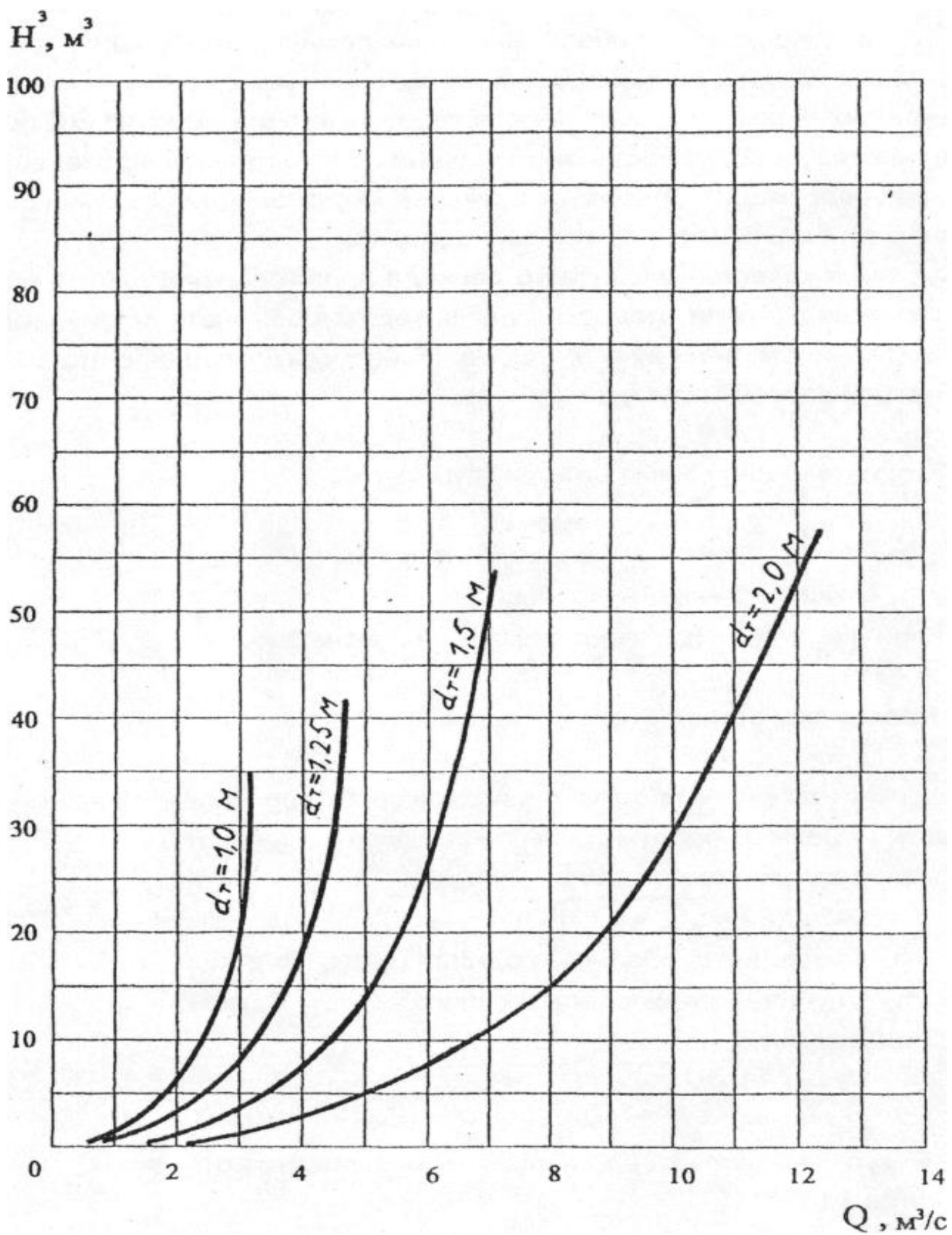


Рис.5. График пропускной способности круглых труб

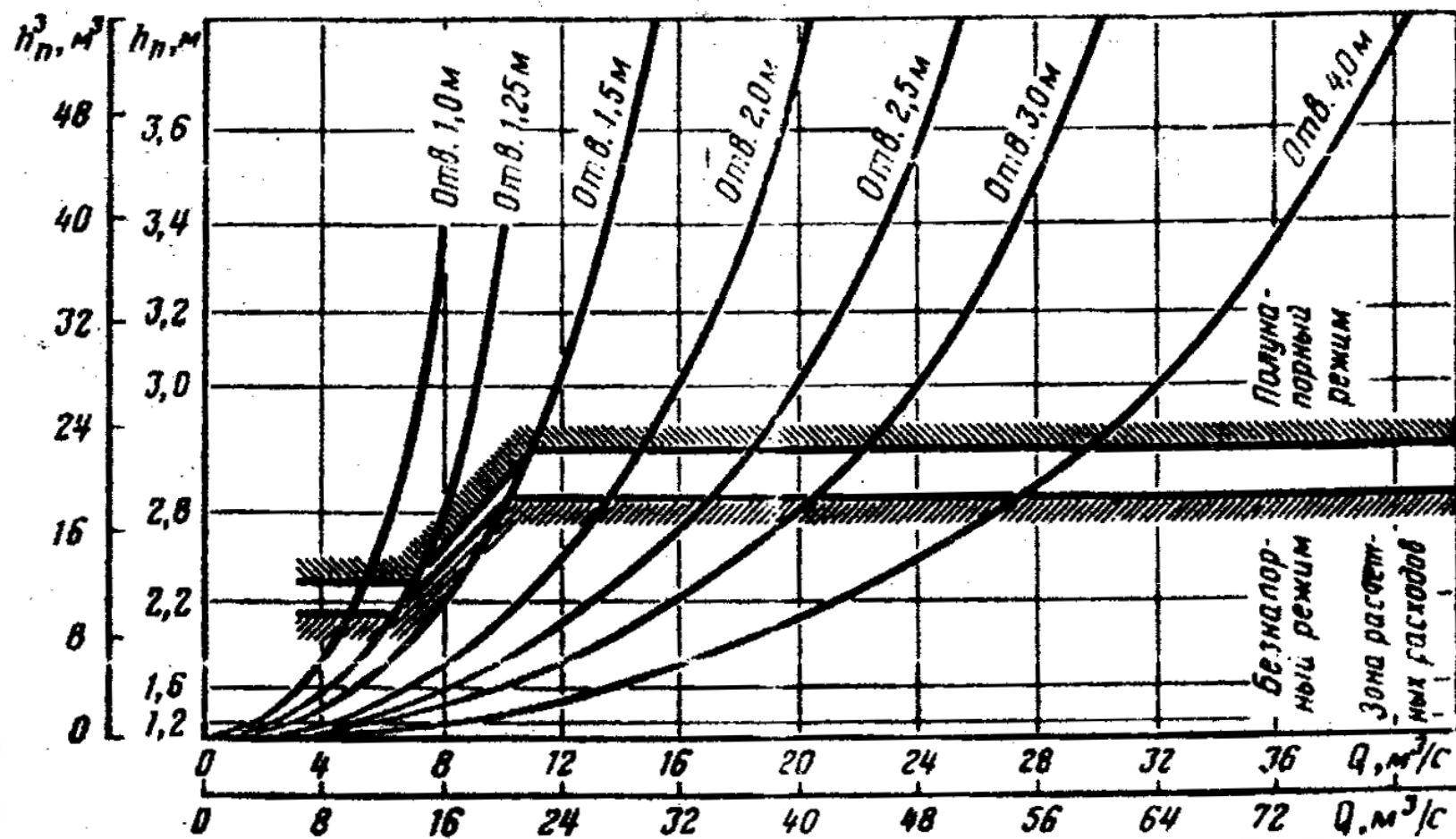


Рис.6. График пропускной способности прямоугольных труб

Таблица 6 Пропускная способность прямоугольных труб с обтекаемыми оголовками

Расход Q на 1 пог.м., куб.м./сек.	Высота трубы, м													
	1,00		1,40		1,80		2,00		2,20		2,40		2,60	
	H	v	H	v	H	v	H	v	H	v	H	v	H	v
3,0	1,51	3,0	1,52	3,1										
3,5	1,69	3,3	1,69	3,3	1,69	3,3								
4,0	1,90	4,0	1,86	3,4	1,84	3,4								
4,5	2,14	4,5	2,00	3,5	2,00	3,5								
5,0	2,41	5,0	2,20	3,7	2,14	3,6								
5,5	2,71	5,5	2,40	3,9	2,30	3,8								
6,0	3,03	6,0	2,60	4,3	2,44	3,9	2,44	3,9						
6,5	3,39	6,5	2,72	4,6	2,58	4,0	2,58	4,0						
7,0	3,77	7,0	2,90	5,1	2,70	4,1	2,70	4,1	2,70	4,1				
7,5	4,21	7,5	3,20	5,6	2,85	4,2	2,85	4,2	2,85	4,2	2,85	4,2		
8,0	4,65	8,0	3,40	5,7	2,98	4,3	2,98	4,3	2,98	4,3	2,98	4,3	2,98	4,3
9,0	5,63	9,0	3,95	6,4	3,28	5,0	3,22	4,4	3,22	4,4	3,22	4,4	3,22	4,4
10	6,71	10	4,45	7,2	3,55	5,5	3,46	4,6	3,46	4,6	3,46	4,6	3,46	4,6
11	7,92	11	5,15	7,8	3,91	6,1	3,71	5,5	3,68	4,7	3,68	4,7	3,68	4,7
12	9,25	12	5,95	8,6	4,32	6,7	4,09	6,0	3,88	5,4	3,88	4,9	3,88	4,9
13			6,60	9,2	4,75	7,2	4,39	6,5	4,16	5,9	4,10	5,0	4,10	5,0
14			7,35	10	5,22	7,8	4,75	7,0	4,49	6,4	4,32	5,8	4,30	5,2
15			8,20	10	5,74	8,3	5,22	7,5	4,82	6,8	4,60	6,2	4,52	5,3
16			9,00	11	6,27	8,9	5,66	8,0	5,19	7,3	4,90	6,7	4,73	6,1
17			10,0	11	6,85	9,5	6,14	8,5	5,68	7,7	5,24	7,1	5,00	6,5
18			11,0	12	7,45	10,0	6,64	9,0	5,98	8,2	5,58	7,5	5,30	6,9
19			12,0	13	8,00	10,0	7,16	9,5	6,41	8,6	5,93	7,9	5,60	7,3
20					8,80	11,0	7,71	10,0	6,86	9,1	6,32	8,3	5,93	7,7
21					9,50	12,0	8,30	10,0	7,38	9,5	6,73	8,7	6,28	8,1
22					10,3	12,0	8,91	11,0	7,87	10	7,14	9,1	6,63	8,5
23							9,54	11,0	8,40	11	7,57	9,6	7,00	8,8
24							10,2	12,0	8,95	11	8,05	10,0	7,40	9,2
25							10,9	12,0	9,50	11	8,52	10,0	7,80	9,6
26													8,21	10,0
27													8,66	10,0
28														
29														
30														

Таблица 7

Пропускная способность круглых железобетонных труб (в м³/сек)

Расход Q, м/сек	d=0,75 м		d=1,0 м				d=1,25 м				d=1,5 м				d=2,0 м				Расход Q, м/сек	
	Тип входного оголовка																			
	I		I		II		I		II		I		II		I		II			
	H	v	H	v	H	v	H	v	H	v	H	v	H		v	H	v	H		v
0,4	0,61	1,7	0,55	1,6	0,51	1,6	0,51	1,5	0,47	1,5	0,48	1,5	0,42		1,5	0,45	1,5	0,38	1,5	0,4
0,6	0,79	1,9	0,70	1,8	0,64	1,8	0,62	1,7	0,57	1,7	0,60	1,7	0,56		1,7	0,55	1,6	0,49	1,6	0,6
0,8	1,00	2,9	0,82	2,0	0,76	2,0	0,73	1,8	0,67	1,8	0,69	1,8	0,64		1,8	0,67	1,7	0,61	1,7	0,8
0,9	1,17	3,1	0,88	2,0	0,81	2,0	0,76	1,9	0,71	1,9	0,74	1,8	0,68		1,8	0,69	1,8	0,65	1,8	0,9
1,0	1,33	3,5	0,94	2,1	0,86	2,1	0,82	1,9	0,75	1,9	0,78	1,9	0,72		1,9	0,73	1,8	0,68	1,8	1,0
1,1	1,51	3,8	1,00	2,2	0,91	2,2	0,86	2,0	0,79	2,0	0,82	1,9	0,76		1,9	0,72	1,9	0,72	1,9	1,1
1,2	1,72	4,2	1,06	2,3	0,96	2,3	0,91	2,1	0,84	2,1	0,87	2,0	0,80		2,0	0,81	1,9	0,75	1,9	1,2
1,4	2,19	4,9	1,17	2,5	1,06	2,5	1,00	2,2	0,92	2,2	0,93	2,1	0,87		2,1	0,89	2,0	0,82	2,0	1,4
1,6	2,69	5,6	1,37	3,4	1,14	2,6	1,09	2,3	1,00	2,3	1,00	2,2	0,93		2,2	0,93	2,1	0,87	2,1	1,6
1,8			1,59	3,7	1,23	2,6	1,16	2,4	1,07	2,4	1,08	2,2	1,00		2,2	0,99	2,1	0,92	2,1	1,8
2,0			1,80	4,1	1,32	2,7	1,26	2,5	1,13	2,5	1,15	2,3	1,07		2,3	1,05	2,2	0,97	2,2	2,0
2,2			2,04	4,6	1,47	2,8	1,33	2,6	1,21	2,6	1,21	2,4	1,12		2,4	1,11	2,2	1,02	2,2	2,2
2,5			2,47	5,1	1,58	3,2	1,43	2,8	1,31	2,8	1,30	2,5	1,20		2,5	1,19	2,3	1,10	2,3	2,5
3,0					1,82	3,8	1,86	3,8	1,45	2,9	1,47	2,7	1,33		2,7	1,30	2,4	1,21	2,4	3,0
3,5					2,14	4,5	2,24	4,6	1,60	3,1	1,63	2,9	1,48		2,9	1,41	2,6	1,31	2,6	3,5
4,0					2,47	5,1	2,66	5,2	1,84	3,2	1,75	3,1	1,60		3,1	1,53	2,7	1,43	2,7	4,0
4,5					2,87	5,7	3,26	5,9	1,98	3,7	2,07	4,2	1,71		3,2	1,65	2,8	1,53	2,8	4,5
5,0									2,17	4,0	2,38	4,6	1,83		3,3	1,75	2,9	1,61	2,9	5,0
5,5									2,37	4,5	2,67	5,0	1,95		3,4	1,86	3,0	1,71	3,0	5,5
6,0									2,58	4,8	2,99	5,5	2,09		3,6	1,97	3,1	1,79	3,1	6,0

продолжение табл.7

6,5									2,82	5,2	3,32	5,9	2,27		2,06	3,2	1,88	3,2	6,5
7,0									3,09	5,7			2,40	4,0	2,16	3,3	1,97	3,3	7,0
7,5									3,34	6,1			2,52	4,2	2,26	3,4	2,07	3,4	7,5
8,0													2,64	4,5	2,34	3,6	2,08	3,6	8,0
8,5													2,79	4,8	2,38	3,6	2,18	3,6	8,5
9,0													2,93	5,1	2,06	4,6	2,29	3,7	9,0
													3,10	5,4	2,86	4,9	2,36	3,7	9,5
													3,29	5,6	3,07	5,1	2,44	3,8	10,0
													3,68	6,2	3,46	5,6	2,62	3,9	11,0
															3,83	6,1	2,74	4,0	12,0
																	2,96	4,1	13,0
																	3,10	4,4	14,0
																	3,28	4,7	15,0
																	3,40	5,0	16,0
																	3,60	5,4	17,0
																	3,80	5,7	18,0
																	4,04	6,0	19,0

Примечания: 1. Оголовки труб: I - необтекаемые порталные (при $d = 0,75$ м) и раструбные (при $d = 1-2$ м);

II – обтекаемые

2. Выше черты данные для расчета при безнапорном режиме с запасом на выходе $1/4$ высоты трубы, но не более $0,25$ м;

ниже черты - при чрезвычайных условиях эксплуатации, т.е. при полупапорном режиме и I типе оголовка или напорном и II типе оголовка.

3. Высота H дана в м, скорость, v - м/с

1.1.4. Определение режима работы труб

В зависимости от условия протекания воды в трубах могут быть приняты три режима: *безнапорный, полунапорный и напорный*.

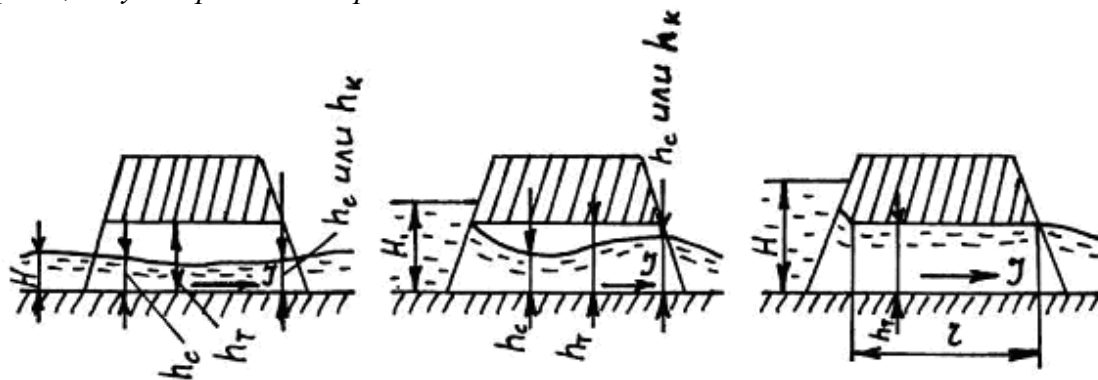


Рис.7. Виды режимов работы труб

Безнапорный режим устанавливается в том случае, если труба работает на входе как свободный водослив с широким порогом (рис. 8).

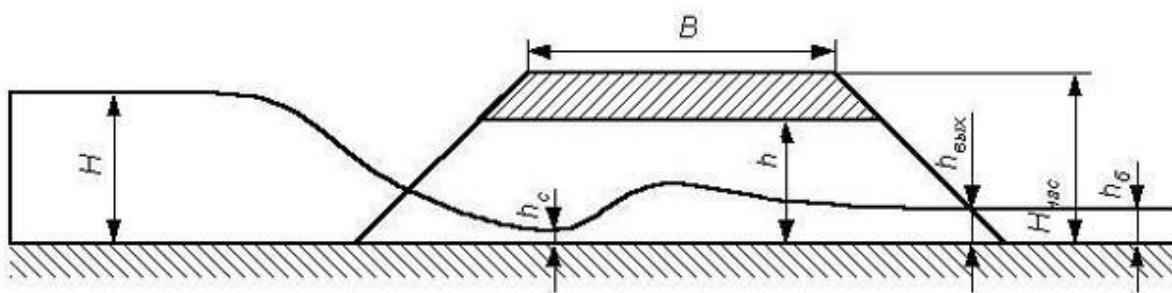


Рис.8. Схема безнапорного режима течения:

H – напор воды перед трубой, h_c – глубина потока в сжатом сечении, h – высота трубы в свету, $h_{вых}$ – глубина потока на выходе из трубы, $H_{нас}$ – высота насыпи, $h_б$ – глубина потока в бытовом состоянии, B – ширина земляного полотна

Отверстия безнапорных труб рассчитывают по допускаемому заполнению при входе, устанавливаемому техническими условиями.

Обычно принимается при $H \leq 1,2 * h_T$ – безнапорный режим работы, где h_T – высота (диаметр) трубы. При круглых трубах $h_T = d$.

Чтобы увеличить диапазон реализации данного режима, устраивают повышенное входное звено у прямоугольных труб или коническое звено – у круглых труб. Безнапорный режим удобен в эксплуатации, т.к. обеспечивает возможность проплывания через трубу некрупных предметов.

Безнапорный режим наблюдается в обычных входных оголовках тип I – $H \leq 1,2 * h_T$, а в обтекаемых – тип II – $H \leq 1,4 * h_T$.

В связи с тем, что в практике дорожного строительства широко применяются типовые трубы установленных размеров, изготавливаемые промышленными методами, назначение соответствующих сечений труб может быть произведено по пропускной способности трубы. Поэтому диаметр трубы и тип оголовка можно определить по таблице прил. 3 [1, с. 221] (табл. 7-8).

С увеличением напора воды происходит переход от безнапорного режима течения к **полунапорному**. При этом пропускная способность трубы возрастает. Полунапорный режим течения реализуется в том случае, когда $1,2 h < H < 1,4 h$.

При этом входное отверстие затоплено, т.е. на входе труба работает полным сечением, но на остальном протяжении поток имеет свободную поверхность (рис.9). Полунапорный режим возникает при порталных и раструбных оголовках (рис.10).

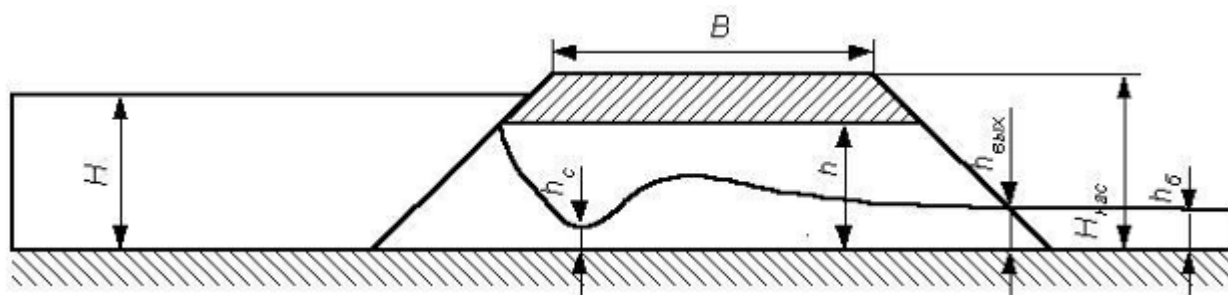


Рис.9. Схема полунапорного режима течения

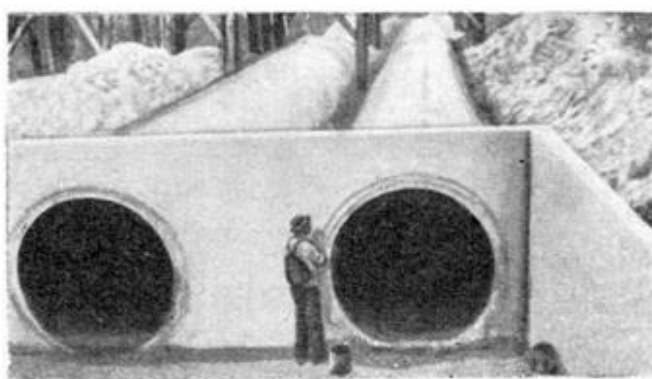


Рис. 10. Виды оголовков: порталный — справа, раструбный — слева

Полунапорный режим бывает в обычных входных оголовках при затопленном входном сечении трубы. В пределах трубы поток имеет свободную поверхность, глубина воды в трубе после сжатия потока на выходе устанавливается меньше критической $h_c = \sum h_t$, где коэффициент сжатия $\sum$ равен 0,60 для прямоугольных и 0,65 для круглых труб.

Напорный режим (рис. 11) устанавливается при специальной обтекаемой форме входного оголовка и при глубине пока перед трубой $H > 1,4 * h_t$. В этом случае заполнение трубы на всем протяжении полное.

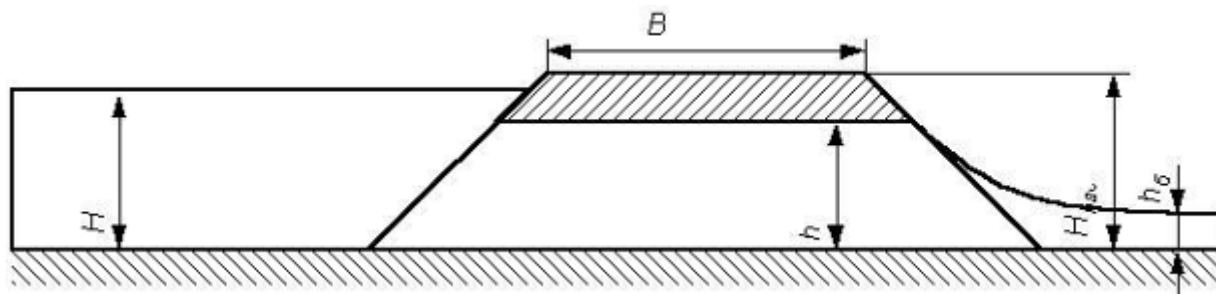


Рис.11. Схема напорного режима течения

При выборе режима работы трубы необходимо учитывать, что наиболее удобным для эксплуатации является безнапорный режим, обеспечивающий возможность проплывания через трубу некрупных предметов.

Режим работы трубы определяется по соотношению $H/h_{вх}$,
где $h_{вх}$ – высота входного звена трубы, принимаемая (табл. 8,9).

Водопропускные трубы следует проектировать, как правило, на безнапорный режим работы.

Полунапорный и напорный режимы допускается предусматривать для пропуска расчётного максимального расхода воды.

В случае использования напорного и полунапорного режимов следует предусматривать:

- фундаменты под оголовками и звеньями труб;
- противофильтрационные экраны (при необходимости);
- специальные входные оголовки;
- обеспечение водонепроницаемости швов между торцами звеньев и секциями фундаментов;
- надежное укрепление русла; - устойчивость насыпи против напора и фильтрации.

В случае, когда средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 ниже -40°C , полунапорный и напорный режимы предусматривать не допускается, за исключением труб на скальных грунтах.

Таблица 8

Геометрические размеры круглых труб

Отверстие, D, м	Входное звено		Длина оголовка, м	Высота насыпи, $H_{нас}$, м	Толщина звена, м
	Высота, $h_{вх}$	Длина, $l_{вх}$			
1,00	1,20	1,32	1,78	<u>До 4,0</u> 4,1 – 7,0	<u>0,10</u> 0,12
1,25	1,50	1,32	1,26	<u>До 4,0</u> <u>4,1 – 8,0</u> 8,1 – 20,0	<u>0,12</u> <u>0,14</u> 0,18
1,50	1,80	1,32	2,74	<u>До 4,5</u> 4,6 – 9,0	<u>0,14</u> <u>0,16</u> 0,22
2,0	2,40	1,32	3,66	<u>До 5,0</u> <u>5,1 – 9,0</u> 9,1 – 20,0	<u>0,16</u> <u>0,20</u> 0,24
<i>Примечание:</i> для труб с нормальным входным звеном: его высота на входе равна отверстию трубы, а длина равна 1 м 1) длина остальных звеньев равна 1,0 м.					

Таблица 9

Геометрические размеры прямоугольных труб

Отверстие, В * h,м	Входное звено		Длина оголовка, <u>М.</u> М м	Высота насыпи, Ннас, м	Толщина плиты перекрытия, м
	Высота, h, м	Длина, l, м			
1,5 x 2	<u>2,0</u>	3,02	<u>3,20</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,19</u>
	2,5		3,95	8,1 – 20,0	0,30
2,0 x 2,0	<u>2,0</u>	3,02	<u>3,20</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,22</u>
	2,5		3,95	8,1 – 20,0	0,37
3,0 x 2,0	<u>2,0</u>	3,02	<u>3,20</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,30</u>
	2,5		3,92	8,1 – 20,0	0,47
2,0 x 3,0	<u>3,0</u>	3,02	<u>4,70</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,22</u>
	3,5		5,45	8,1 – 20,0	0,37
3,0 x 3,0	<u>3,0</u>	3,02	<u>4,70</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,30</u>
	3,5		5,45	8,1 – 20,0	0,47
4,0 x 3,0	<u>3,0</u>	3,02	<u>4,70</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,36</u>
	3,5		5,45	8,1 – 20,0	0,57
5,0 x 3,0	<u>3,0</u>	3,02	<u>4,70</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,43</u>
	3,5		5,45	8,1 – 20,0	0,68
6,0 x 3,0	<u>3,0</u>	3,02	<u>4,70</u>	<u>До 8,0</u>	<u>0,50</u>
	3,5		5,45	8,1 – 20,0	0,76
Примечание:					
1) В числителе даны значения, соответствующих нормальному звену, а в знаменателе – повышенному.					
2) Длина остальных секций равна 4 м.					

1.1.5. Расчёт скорости протекания воды в трубе. Определение скорости на выходе из трубы

Расчёт скорости протекания воды в трубе производится в зависимости от режима работы трубы по следующим формулам (12, 13):

при безнапорном режиме

$$v = 0,82 * \sqrt{2 * g(H - h_c)}, \text{ м/с} \quad (12)$$

где: g - ускорение свободного падения ($g=9,81 \text{ м/с}^2$); h_c - глубина потока в сжатом сечении ($h_c = 0,5 * H$); H – глубина воды перед трубой.

при полунанпорном режиме

$$v = 0,85 * \sqrt{2 * g(H - 0,6 * h_T)}, \text{ м/с} \quad (13)$$

Результаты расчётов для различных вариантов отверстий труб заносятся в табл.6

Определяем скорость на выходе из трубы по формуле (14):

$$V_{\text{вых}} = 0.85 \sqrt{gH} \quad (14)$$

Например:

Для трубы в Свердловской области $d = 1,5 \text{ м}$;

$1,2 \cdot h_T \geq 1,08$ - безнапорный режим работы

.

1.1.6. Выбор отверстия трубы

Выбор рационального варианта отверстия трубы проводится по таблицам (табл.8,9) Предпочтение отдаётся трубам с наименьшим отверстием и минимальным количеством очков со скоростью протекания воды не более 4 - 5 м/с.

Подпор перед трубой не должен быть больше определённого значения, которое устанавливается в зависимости от рельефа, формы и размеров лога.

Например:

Таблица

№ вар.	Отверстие трубы $d_T, м$	Расход с учётом аккумуляции $Q, м^3/с$	Подпор $H, м$	Режим работы	Тип оголовка	Скорость воды $V, м/с$
1	1,25	3,1	2,15	Полунапорный	необтекаемый	4,45
2	1,50	4,1	2,04	Полунапорный	необтекаемый	4,02
3	2,00	4,8	1,87	Безнапорный	необтекаемый	3,51

Вывод: для дальнейших расчётов и проектирования принимаем трубу отверстием $d_T = 1,5 м$, работающую в безнапорном режиме.

1.1.7. Расчёт минимальной высоты насыпи у трубы

Расчёт минимальной высоты насыпи у трубы (рис. 12) производится в зависимости от режима работы трубы по следующим формулам (15,16):

при безнапорном режиме

$$h_{\min} = h_T + \delta + h_{до}, м \quad (15)$$

где δ - толщина свода трубы, принимается (табл. 10). $h_{до}$ - толщина дорожной одежды, но не менее 0,5 м;

при полунапорном режиме

$$h_{\min} = H + 1, м \quad (16)$$

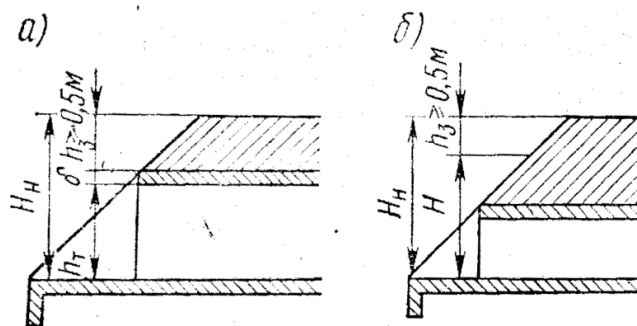


Рис. 12. Определение наименьшей высоты насыпи над трубой

Таблица 10

Отверстие трубы $d_T, м$	1,25	1,50	2,0
Толщина свода $\delta, м$	0,12	0,14	0,16

Например:

для трубы $d=1,5 м$ в Свердловской области

$$h_c = 0,5 \cdot 1,08 = 0,54 м$$

$$V = 0,82 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot (1,2 - 0,54)} = 2,67 м/с$$

$$V_{\text{вых}} = 0,85 \cdot \sqrt{9,8 \cdot 1,08} = 2,77 м/с$$

1.1.8. Проектирование укрепления за трубой. Длина плоского укрепления за трубой

С целью предотвращения аварий малых искусственных сооружений на дорогах, в их выходных руслах предусматривают укрепления.

Выходные русла можно разделить на *неразмываемые и размываемые*.

Размываемые русла требуют укрепления, которые подразделяются на жёсткие (бетонные или железобетонные) и гибкие (каменная наброска).

Наиболее экономичными являются короткие жёсткие укрепления, заканчивающиеся предохранительным откосом, у которого развивается размыв (рис.13).

Длина бетонной плиты $l_{укр} = (3 \div 4) \cdot b_{тр}$,

где $b_{тр}$ – ширина прямоугольной трубы или диаметра круглой трубы.

Задача расчёта укрепления выходного русла сводится к определению глубины предохранительного откоса при заданной длине плоского укрепления.

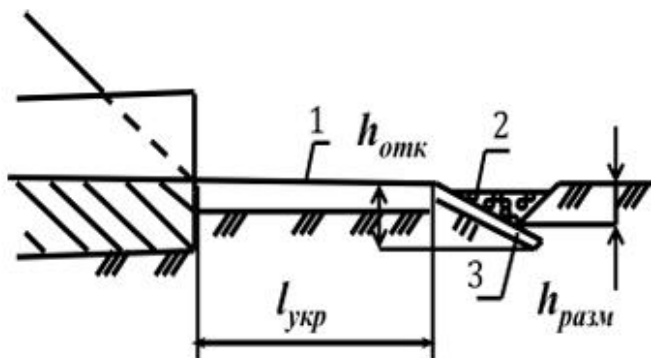


Рис.13 . Укрепление выходного русла комбинированного типа:

1 – бетонная плита; 2 – каменная наброска в ковше размыва; 3 – предохранительный откос; $h_{отк}$ – глубина заложения предохранительного откоса; $h_{разм}$ – глубина ямы размыва

Длина полного укрепления за трубой определяется по формуле (17):

$$L_{укр} = (2 \dots 4) \cdot b_T \quad (17)$$

где b_T - ширина (диаметр) трубы.

Ширина плоского укрепления за трубой по формуле (18):

$$B_{укр} = 3 \cdot b_T \quad (18)$$

Толщина укрепления у выходного оголовка находим по формуле (19):

$$S = 0,35 \cdot H \quad (19)$$

Скорость потока в зоне растекания определяется по формуле (20):

$$V_p = 1,5 \cdot v_{вых} \quad (20)$$

Например,

для трубы $d=1,5\text{ м}$ в Свердловской области

$$L_{укр} = 2 \cdot 1,5 = 3\text{ м}$$

$$B_{укр} = 3 \cdot 1,5 = 4,5\text{ м}$$

$$S = 0,35 \cdot 1,08 = 0,38\text{ м}$$

$$V_p = 1,5 \cdot 2,67 = 4,0\text{ м/с}$$

$$h_n = 4/3 \cdot 1,5 = 2\text{ м}$$

В соответствии со скоростью потока в зоне растекания принимаем тип укрепления – монолитный бетон с щебеночным основанием.

Таблица 11

Типы укрепления за трубой

Отверстие трубы, м	Укрепление мощением			Укрепление сборными бетонными плитами	
	Объемы работ на трубу				
	Площадь одиночного мощения, м²	Площадь двойного мощения, м²	Каменная наброска, м²	Общая площадь укрепления, м²	Каменная наброска, м²
0,75	29/0	21,3/0	1,2/0	41,5/0	0/0
1,0	35/50	41/64	3,6/8,9	79/114	3,6/8,9
2*1,0	42/57	50/72	5/72	94/128	5/10,1
1,25	44/51	50/77	4,4/10	94/128	4,4/10
2*1,25	55/59	63/88	6,1/11,4	116/148	6,1/11,4
1,5	53/64	64/120	6,1/14,5	117/184	6,1/14,5
2*1,5	64/74	81/138	8,4/16,5	143/210	8,4/16,5
2,0	68/66	85/170	7,8/0	163/236	7,8/17,8
2*2,0	84/79	111/199	10,9/20,4	206/283	10,0/20,4
3,0	0/75	0/292	0/24,5	0/366	0/24,5
2*3,0	0/96	0/351	0/28,5	0/450	0/28,5
4,0	0/82	0/361	0/27,7	0/445	0/27,7
2*4,0	0/109	0/449	0/32,9	0/361	0/32,9
<i>Примечание. 1) В числителе указаны объемы работ для круглых труб, в знаменателе – для прямоугольных.</i>					
3) Для круглых труб $d \geq 1,25$ м, критический уклон $i_k=0,007$; при $d \geq 1,5$ м ; $i_k=0,006$; для прямоугольных труб при $b= 1,0-1,25$ м; $i_k=0,008$; при $b= 3$ м $i_k=0,007$; при $b= 4$ м $i_k=0,006$.					

Таблица 12

Геометрические характеристики укреплений у круглых труб

Отверстие, D, м	Расход на одно очко, Q, м³/с	Длина укрепления		Ширина укрепления		Глубина ковша размыва, Т, м	Высота каменной наброски в ковше, Тк,м	h + 0,25, м	Длина укрепления откоса, Р, м
		Входной оголовек, a, м	Выходной оголовек, b, м	Входной оголовек, N ₁ , м	Выходной оголовек, N ₂ , м				
1,0	До 3,5	2,0	2,0	3,6	7,2	1,0	0,50	1,96	3,5
2 x 1,0			2,8	8,0	10,2				
3 x 1,0			3,4	9,5	14,0				
1,25	До 6,0	2,5	2,0	7,4	7,9	1,1	0,75	2,28	4,1
2x1,25			2,8	9,2	11,5				
3x1,25			3,4	10,9	15,0				
1,50	<u>3,9</u> 4,0 – 8,5	3,0	<u>2,0</u>	8,0	<u>8,5</u>	<u>1,0</u> 1,1 – 1,30	<u>0,50</u> 0,55 – 0,75	2,60	4,70
			3,0		8,7				
2x1,50			<u>2,8</u> 4,2	10,1	<u>12,4</u> 12,9				
3x1,50			<u>3,4</u> 5,1	12,2	<u>16,3</u> 17,1				
2,0	<u>До 3,0</u> 4,0 – 16,5	3,5	<u>2,0</u>	9,3	<u>9,9</u>	<u>1,0</u> 1,0 – 1,6	<u>0,50</u> 0,60 – 1,10	3,21	5,8
			3,0		10,5				
2x2, 0			<u>2,8</u> 4,2	12,0	<u>9,9</u> 10,5				
3x2,0			<u>3,4</u> 5,1	14,9	<u>19,3</u> 20,7				

Примечание:

1. Материал укрепления - монолитный бетон, бетонные плиты, мощение.
2. Высота укрепления откосов насыпи у входных оголовков принимается равной Н=0,25 м, но не менее h + 0,25м.
3. У выходного оголовка насыпь укрепляется на высоту h + 0,25м.

Геометрические характеристики укреплений у прямоугольных труб

Отверстие, D, м	Расход на одно очко, Q, м³/с	Длина укрепления		Ширина укрепления		Глубина ковша размыва, Т, м	Высота каменной наброски в ковше, Т _к , м	h + 0,25, м	Длина укрепления откоса, Р, м
		Входной оголовок, a, м	Выходной оголовок, b, м	Входной оголовок, N ₁ , м	Выходной оголовок, N ₂ , м				
1,5x2,0	До 11,3	3,5	3,0 – 5,0	8,60	8,60 – 9,3	1,0 – 1,61	0,70 – 1,20	3,41	6,1
2x1,5x2,0	До 11,3	3,5	4,2 – 7,0	10,30	12,90 – 14,200	1,30 – 2,10	0,70 – 1,20	3,41	6,1
2,0x2,0	До 15,0	3,5	5,0	8,90	10,50 – 10,60	1,40 – 1,80	0,95 – 1,30	3,43	6,0
2x2,0x2,0	До 15,0	3,5	7,0	11,10	16,70	1,7 0– 2,30	0,95 – 1,30	3,43	6,2
3,0x2,0	До 22,5	3,5	5,0 – 7,0	9,50	12,50 – 13,40	1,40 – 1,80	0,95 – 1,30	3,52	6,3
2x3,0x2,0	До 22,5	5,0	7,0 – 9,8	13,0	20,80 – 22,90	1,60 – 2,30	0,95 – 1,30	3,52	6,3
2,0 x 3,0	До 23,0	3,5	7,0	10,0	11,80	1,80 – 2,10	1,25 – 1,60	4,43	8,0
2x2,0 x 3,0	До 23,0	3,5	9,8	12,50	18,30	2,30 – 2,60	1,25 – 1,60	4,43	8,0
3,0x3,0	До 35,4	3,5	7,0	11,0	14,10	1,70 – 2,30	1,20 – 1,70	4,52	8,20
2x3,0x3,0	До 35,4	5,0	9,8	14,50	23,20	2,10 – 3,0	1,20 – 1,70	4,52	8,20
4,0x3,0	До 46,0	3,5	7,0 – 10,0	12,0	15,9 – 17,0	2,0 - 2,5	1,45 – 1,85	4,58	8,30
2x4,0x3,0	До 46,0.	5,0	9,80 – 14,0	16,50	26,8 - 29,20	2,60- 3,2	1,55 – 1,85	4,58	8,30
5,0x3,0	До 57,5	5,0	10,0	13,0	20,20	2,20 - 2,5	1,55 – 1,85	4,66	4,4
2x5,0x3,0	До 57,5	5,0	14,0	18,50	35,5	2,80 -3,2	1,55 – 1,85	4,66	8,4
6,0x3,0	До 69,0	5,0	10,0	14,0	22,0	2,40 – 2,8	1,75 – 2,00	4,73	8,5
2x6,0x3,0	До 69,0	5,0	14,0	20,50	39,4	3,0 – 3,6	1,75 – 2,00	4,73	8,5

1.1.9. Определение длины трубы

Длина трубы зависит от высоты насыпи, которую принимают равной рабочей отметки продольного профиля над трубой.

Длина трубы при постоянной крутизне откосов насыпи определяется по формуле (21):

$$L_T = B + 2 * m (h_{нас} - d_T) + M, \text{ м} \quad (21)$$

где B - ширина земляного полотна, м; m - коэффициент заложения откоса насыпи;

$h_{нас}$ - высота насыпи в месте залегания трубы (по продольному профилю); M – толщина портала оголовка ($M = 0,30$ м);

Значение округляем до целого числа в большую сторону.

Длина трубы без оголовка определяется по формуле (22):

$$L = \left[\frac{0,5B + m(H_{нас} - h_{mp})}{1 + m \times i_{mp}} + \frac{0,5B + m(H_{нас} - h_{mp})}{1 + m \times i_{mp}} + n \right] \times \frac{1}{\sin a} \quad (22)$$

Поперечный разрез трубы представлен (рис.14).

Например:

Длину трубы при постоянной крутизне откосов насыпи определяем по формуле (55):

$$L = B + 2 * m (h_{нас} - d_m - \delta) + M \quad (55)$$

где B - ширина земляного полотна, м; m – коэффициент заложения откоса; $h_{нас}$ - высота насыпи в месте залегания трубы (по продольному профилю), м; d_m – диаметр трубы, м; δ – толщина стенки трубы, м; M - толщина портала оголовков трубы, м.

$d=1,5\text{ м}$ $L=10+2*1,5*(3,0-1,5-0,14)+0,35*2=14,9\text{ м}$ – без оголовков.

Аналогично проводим расчеты по всем остальным трубам:

ПК 23+00, МГК, $d=1,0\text{ м}$

$L=10+2*1,75*(2,25-1,0)+0,35*2=15,1\text{ м}$ – без оголовков.

ПК 25+20, ж/б, $d=1,0\text{ м}$

$L=10+2*1,75*(3,01-1,0-0,12)+0,35*2=17,32\text{ м}$ – без оголовков.

Все расчеты сведены (табл.11).

Таблица 11

Расчетные данные по водопропускным сооружениям

n/n	Местоположение		Расчётный расход воды, $Q_{расч}$, $\text{м}^3/\text{с}$	Глубина подпорной воды перед сооружением H , м	Гидравлический режим	Тип и отверстие сооружения	Длина трубы L , м
	км	ПК+					
1	3	23+00	4,15	0,82	безнапорный	МГК 1,0 м	15,1, 18,04 - с оголовками
2	3	25+20	2,17	0,7	безнапорный	ж/б круглая, $d=1,0\text{ м}$	17,32 – без оголовков
3	5	42+80	4,35	1,08	безнапорный	ж/б круглая, $d=1,5\text{ м}$	14,9 19,42 – с оголовками

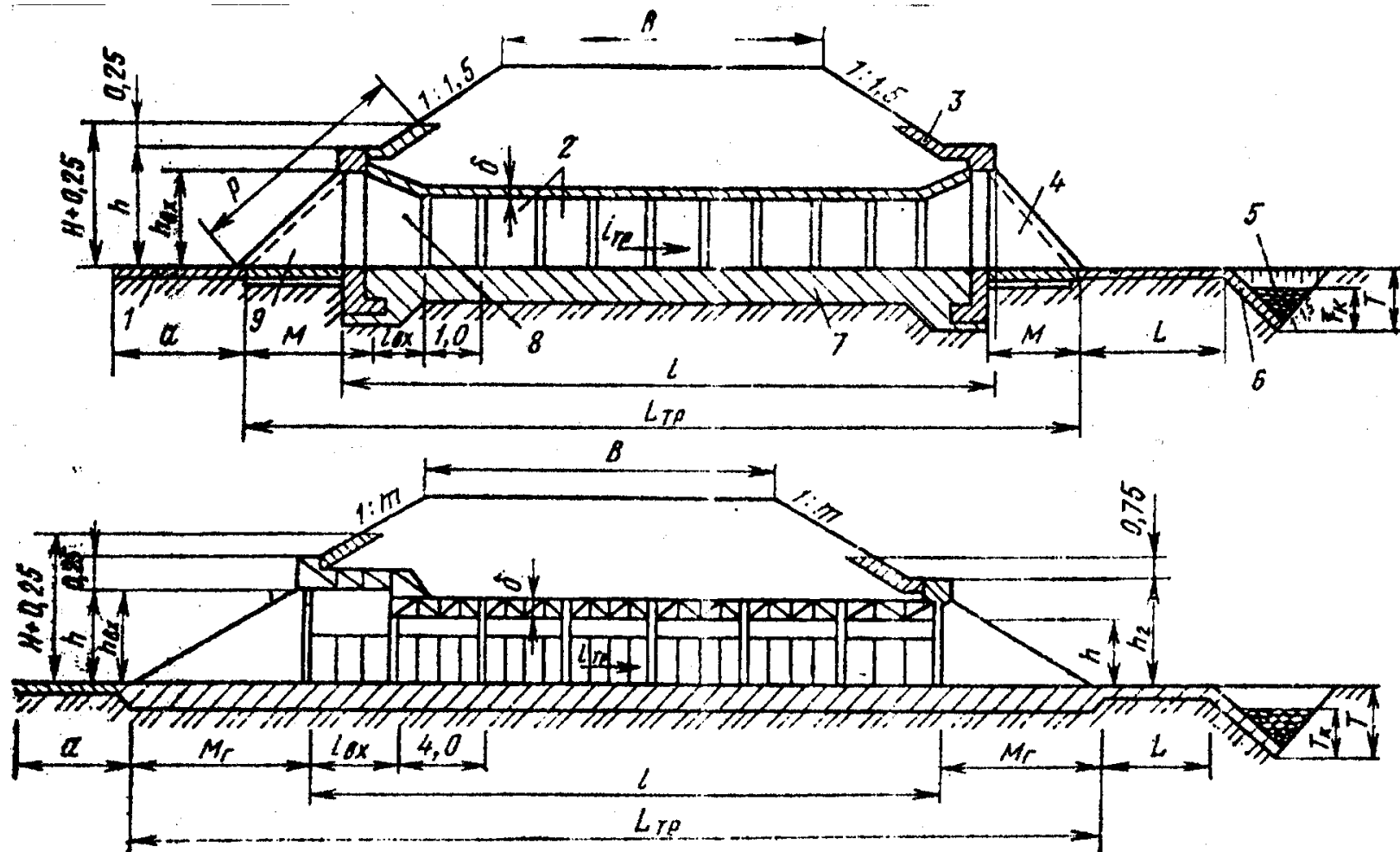
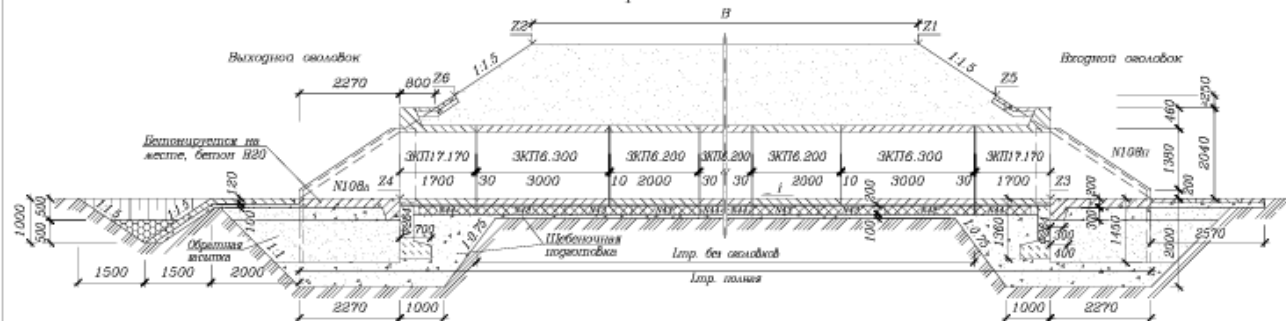


Рис.14. Поперечный разрез труб:

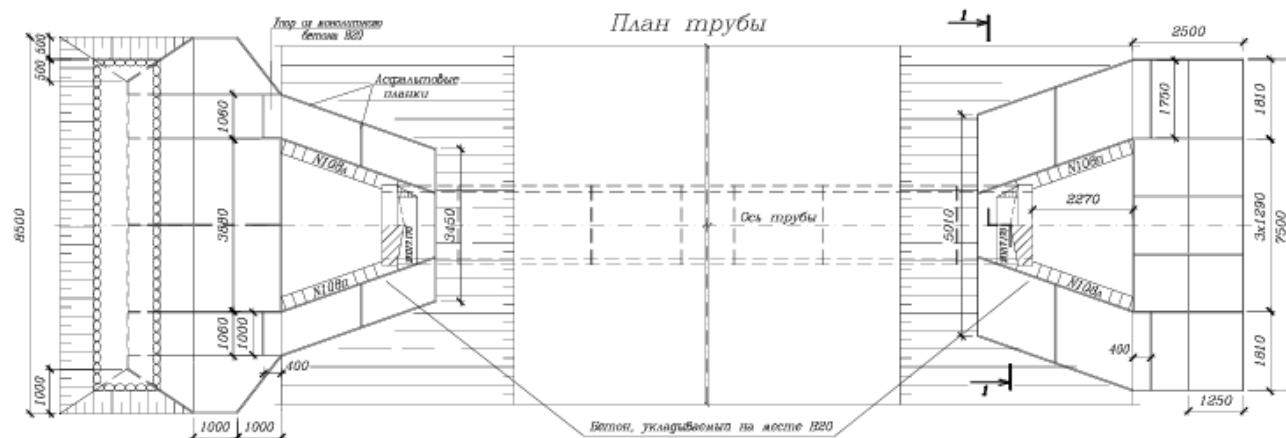
a – круглой; b – прямоугольной; 1- укрепление русла; 2 - промежуточные звенья; 3 - укрепление откосов; 4 – выходной оголовок;
5 - каменная наброска; 6 – предохранительный откос; 7 - фундамент; 8 – входное звено; 9 – входной оголовок

Разрез по оси М 1:50

Разрез по оси М 1:50



План трубы

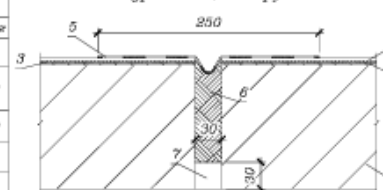


Спецификация блоков на трубы

Класс бетонная блока	Марка блока	Наименование типового проектиа	Наименование блоков, размеры, мм	Кол-во, шт.	Объем, м ³			Расход на единицу			
					1-й отверток	2-й отверток	Всего	Масса, т/м	Объем, м ³	Арматура, кг	
								А1	АШ		
B20 F300	ЖК16.200	3.501.1-144 чист. 1313/3	Цилиндр. Яблоко среднего шипа 1820х1830х2000	6/7	11,4	13,3	24,7	4,8	1,90	32,5	134,0
" "	ЖК16.300	" "	То же 1820х1830х3000	1/1	2,85	2,85	5,7	7,1	2,85	48,8	199,9
" "	ЖКП17.170	" "	Яблоко оваловое 1800х2190х1700	1/1	1,96	1,96	3,92	4,9	1,96	30,5	86,6
B20 F300	N42	3.501-104 чист. 3	Напята футляр. под опалубку 2010х2500х2010	1/1	0,81	0,81	1,62	2,0	0,81	39,9	-
" "	N43	" "	То же 1500х200х2010	9/9	5,4	5,4	10,8	1,5	0,60	29,9	-
" "	N44	" "	То же под опалубку и оваловое 1250х200х2010	-1/1	-	0,5	0,5	1,0	1,3	0,50	26,0
" "	N108 п.4	" "	Опалубочные стенки 2700х300х300	2/2	3,5	3,5	7,0	4,4	1,75	83,7	-
" "	Ф264	3.501.1-126 чист. 1	Противопараллельно- параллельно серия 700х1250х3020	1/1	1,51	1,51	3,02	3,8	1,51	51,0	11,8

Узел А. М1:2,5

Гидроизоляция трубы

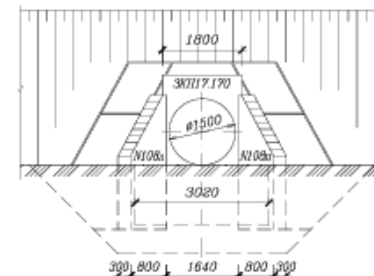


- 1-звено трубы;
- 2-поверхностный с
- 3-битумная армировка
- 4-слой битумной мастики толщиной 3,5 мм;
- 5-внутренняя деформационная шва
- 6-пропанная битумная
- 7-цементный раствор.

Проектные данные водопропускных труб

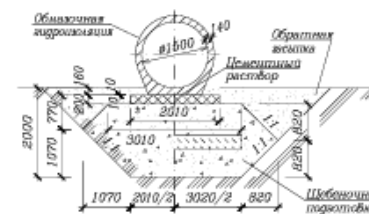
ПК+	В	Входное значение	Лпр. без зана	Лпр. по зана	и. %	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
17+58	27.5	средн	32.80	40.80	10.1	320.39	320.39	317.47	317.14	319.76	319.43

Фасад
Входной оголовок



Разрез 1-1

РАСЧЕТЫ НЕ ПОКАЗАЛИ



Сопряжение откоса с руслом. М1:25

Входной оголовок



Выходной геологический

[illegible]

1.2.РАСЧЕТ МАЛОГО МОСТА

Исходные данные (пример)

Район проектирования *Рязанская область*;

Расположение *ПК11+20 (по заданию)*

Категория дороги *II*

Расчетная вероятность превышения $P=2\%$ (I категория – 1%

II и III – 2%, IV и V – 3%)

Номер ливневого района *6* (прил.1)

Площадь бассейна $F=0,24\text{ км}^2$;

Средний уклон лога бассейна $i_{\text{л}}=0,032$;

Уклон лога сооружения $i_{\text{соор}}=0,018$;

Длина лога бассейна $L=0,4\text{ км}$;

Заложение склонов лога у сооружения $m_1=0.008$, $m_2=0.016$ (по
продольному профилю);

залесенность бассейна $\delta_{\text{л}}=0\%$

заозерность и заболоченность бассейна $\delta_{\text{о}}=3\%$;

тип почв *суглинок*

уклон реки у сооружения $i_{\text{соор}}$ _____

сечение потока считается треугольным с заложением откосов m_1 _____

коэффициент шероховатости русла n _____ (табл. 14).

Таблица 14

коэффициент шероховатости русла

№ п/п	Тип водотока и поверхности русла	Коэффициент шероховатости, n
1	Русла чистые прямые	0,03
2	Русла прямые при наличии камней и растительности	0,035
3	Русла чистые извилистые	0,04
4	Русла извилистые при наличии камней и растительности	0,05
5	Сильно заросшие русла неправильной формы	0,07

Расчетный расход ливневых и талых вод определяется аналогично примера, рассмотренного в задании 1.

1.2.1. Определение бытовой глубины

Мосты проектируют в следующих случаях:

- при пересечении периодически действующих водотоков с большими расходами воды, пропустить которые трубы не могут;
- при пересечении оросительных и осушительных каналов.

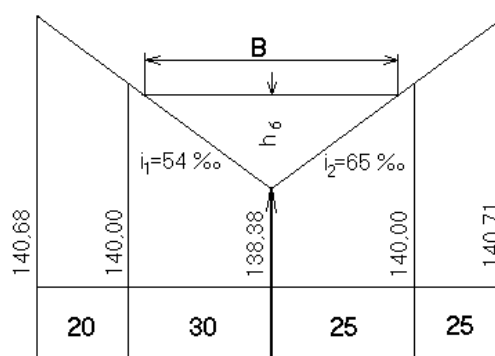
Протекание воды под малым мостом, подходы к которому стесняют водоток, может происходить по нескольким схемам: свободного и несвободного истечения.

Отнесение потока к одной из указанных схем производят на основании сравнения **бытовой глубины** h_b , т.е. глубины нестесненного потока, с **полной критической глубиной** h_k , т.е. глубиной потока в подмостовом сечении. Поэтому при расчете отверстий мостов необходимо после определения величины расчетного расхода, установить бытовые условия потока - глубину и скорость течения воды по тальвегу.

Бытовую глубину обычно определяют последовательным подбором положения ГВВ, что является наиболее трудоемкой частью гидравлического расчета отверстия моста.

Приводим упрощенный метод подбора бытовой глубины потока треугольного сечения (рис.15). Если же русло имеет очертание трапеции или многоугольника, то предварительно следует изменить поперечное сечение, придав руслу очертание по треугольнику, стороны которого примерно совпадают с контуром заданного русла.

Рис.15. Поперечное сечение водотока



В рассматриваемом варианте трассы нет перехода через большой водоток, поэтому расчет отверстия малого моста проводим по условным данным.

При определении рабочей площади и отверстия моста по методу **морфологических характеристик** вначале определяют рабочую площадь под мостом (в м²) для пропуска расчетного расхода.

По кривой расхода **графоаналитическим способом** определяется бытовая глубина потока h_6 (рис.16). Кривая расходов $Q = f(h)$ строится для поперечного сечения потока в створе малого моста.

Её координаты получаются путём расчёта расходов для нескольких глубин потока (задаётся глубина воды в русле от $h=0,2$ м до $h = 2,5$ м).

Расход определяется по следующей формуле (23):

$$Q = \frac{R^{2/3} * w * i_{COOP}}{n}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (23)$$

где w - площадь живого сечения потока при глубине h , формула (24):

$$w = \frac{m_1 + m_2}{2} * h^2, \text{ м}^2 \quad (24)$$

X - смоченный периметр, формула (25)

$$X = h * (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}), \text{ м} \quad (25)$$

R - гидравлический радиус, формула (26)

$$R = \frac{w}{X}, \text{ м} \quad (26)$$

Результаты расчёта кривой расходов заносятся (табл.15). По полученным значениям строится кривая расходов. Бытовая глубина определяется для расчётного расхода по построенной кривой (рис. 16).

Например:

Таблица 15

№№	$h, \text{ м}$	$W, \text{ м}^2$	$X, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$
1	0,3	1,35	9,0	0,15	0,95
2	0,8	9,60	24,0	0,40	13,03

3	1,2	21,60	36,0	0,60	38,41
4	1,5	33,75	45,0	0,75	69,65
5	2,0	60,00	60,00	1,00	150,0

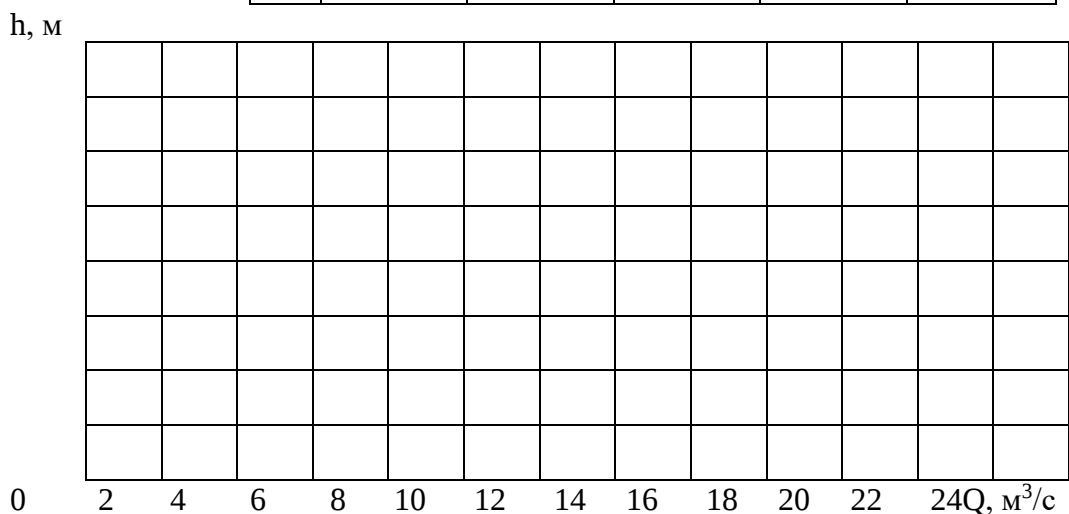


Рис.16. Кривая расходов

Бытовая глубина $h_6 = 1,13$ м.

1.2.2. Установление схемы протекания воды под мостом

Протекание воды под малым мостом происходит по схемам: **свободного** (рис.17,А) **и несвободного истечения** (рис. 17,Б) (незатопленного и затопленного водослива).

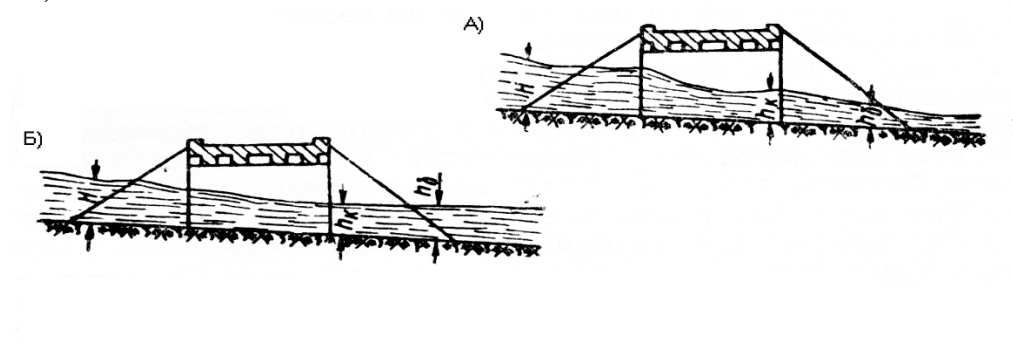


Рис. 17. Протекание воды под малым мостом:
а- свободное истечение; б- несвободное истечение

Установим режим протекания потока под мостом. На основании сравнения бытовой глубины h_6 , т.е. глубины нестесненного потока с полной критической глубиной h_K , т.е. глубиной потока в подмостовом сечении, поток относят к одной из схем (рис.17). Определим критическую глубину потока по формуле (27):

$$h_K = \frac{v_d}{g} = \frac{26.9}{9.8} = 2.76 \text{ м} \quad (27)$$

Поток относят к одной из схем:

- при $1,3 * h_K \geq h_6$ - **свободное протекание**;
- при $1,3 * h_K < h_6$ - **несвободное протекание**.

Для прямоугольных и широких трапециидальных русел средняя критическая глубина h_{rch} и полная критическая глубина h_k совпадают или различаются на незначительную величину.

Например: $1,3 * h_k = 3,6 \text{ м}$

$h_b = 1,13 \text{ м}$, следовательно – свободное протекание.

Проф. Ю.Н.Даденков определил допустимые средние (в сечении) скорости движения воды для разных грунтов и типов укрепений в зависимости от средних глубин потока (табл.16). При промежуточных глубинах водотока значения скоростей принимают по бытовой глубине (не интерполируют).

На постоянных водотоках с крутыми склонами русла, где невозможно применить каменную наброску, допускаемую скорость принимают без укрепления русла и повышения скорости против бытовой отверстие моста не рассчитывают, а мост проектируют перекрывающим все зеркало потока при расчетном расходе: критическая глубина принимается при этом равной бытовой, т.е. $h_k = h_b$. Назначаем тип укрепления под мостового русла (табл.16).

Например: бетонные плитыи соответствующую ему допускаемую скорость течения воды $V_d = 6 \text{ м/с}$

Таблица 16

Допускаемые средние скорости в естественных руслах и при укреплениях разных типов

Грунт или тип укрепления	Средняя глубина потока, м			
	0,40	1,0	2,0	3,0
	Допускаемые скорости, м/с			
Малоплотные глины и суглинки	0,35	0,40	0,46	0,50
Среднеплотные глины и суглинки	0,70	0,85	0,95	1,10
Плотные глины и суглинки	1,00	1,20	1,40	1,50
Очень плотные глины и суглинки	1,40	1,70	1,90	2,10
Лессовые грунты средней плотности (непроедающие)	0,60	0,70	0,80	0,85
Дерн плашмя на плотном основании	0,80	1,20	1,30	1,40
Дерн свежий в стенку	1,50	1,80	2,00	2,20
Свежие хворостяные покрытия и хворостяные крепления	1,80	2,20	2,50	2,70
Одинокaя мостовая из булыжника размером около 20 см	2,2-2,5	3,0-3,5	3,5-4,0	3,8-4,3
Двойная мостовая из булыжника	3,1-3,6	3,7-4,3	4,3-5,0	4,6-5,4
Каменная наброска из булыжного или рваного камня	1,8-3,15	2,2-3,4	2,5-3,9	2,8-4,2
Кладка из кирпича на цементном растворе	1,6	2,0	2,3	2,5
Бутовая кладка из камня малой прочности на цементном растворе	2,9	3,5	4,0	4,4
То же из камня средней прочности	5,8	7,0	8,1	8,7
Кладка из клинкера на цементном растворе	7,1	8,5	9,8	11,0
Деревянные лотки	10,0	10,0	12,0	14,0
Бетон и железобетон с цементной штукатуркой при тщательном выполнении работ при марках бетона от 90 до 250	4,5-7,5	5,0-9,0	5,7-10,0	6,2-11,0

1.2.3. Расчёт отверстия моста

Отверстие моста определяется в зависимости от величины подпора перед мостом и схемы истечения воды под мостом.

Рассчитаем величину подпора H и отверстия моста B .

Подпор H и отверстие моста B определяются в зависимости от режима протекания по следующим формулам (28,29):

при свободном протекании (рис.17, а) отверстие считается по свободной поверхности воды у сооружения.

$$H = 1,45 * h_k, \text{ м}; \quad (28)$$

$$B = \frac{Q_{расч}}{1,35 * H^{\frac{3}{2}}}, \text{ м}. \quad (29)$$

При *трапецидальном сечении потока и опорах с конусами* ширину потока по дну определяют по формуле (30):

$$b_1 = B - 2mh_k, \text{ м} \quad (30)$$

где m - коэффициент крутизны откоса (обычно = 1,5)

При несвободном истечении (рис.17,б затопленный водослив) глубину потока под мостом, т.е. критическую глубину принимают равной бытовой, тогда

$$B = \frac{Q_{расч}}{h_6 * v_D}, \text{ м}; \quad (31)$$

$$H = h_6 + \frac{h_k}{2 * \varphi^2}, \text{ м} \quad (32)$$

где φ - коэффициент скорости (принимается $\varphi = 0,85$).

Ширина потока по дну (b ,м) *при трапецидальном сечении* определится по формуле (33):

$$b = B_{ср} - mh_6 \quad (33)$$

Допускаемые средние скорости в естественных руслах и при укреплениях разных типов представлены (табл.16).

Например: $H = 1,45 * 3,67 = 5,32 \text{ м};$

$$B = 35 / 1,35 \sqrt{(5,32)^2} = 2,11 \text{ м}$$

Отверстие малого моста $B = 2,11 \text{ м.}$, подпор $H = 5,32 \text{ м.}$

1.2.4. Определение минимальной высоты моста

Обычно на дорогах применяют малые мосты по типовым проектам. Поэтому полученная расчетом величина отверстия округляется до типового размера B_m . Основные размеры пролетных строений мостов принимают типовые (табл.17).

Примем размер балок пролетного строения и назначим количество пролетов, исходя из условий, чтобы отверстие моста в свету было больше требуемого отверстия.

Минимальная высота моста определяется по формуле (34):

$$h_m = 0,88 * H + \Delta + h_{кон}, \text{ м} \quad (34)$$

где Δ - возвышение низа пролетного строения над уровнем воды ($\Delta = 0,5 \text{ м}$); $h_{кон}$ - конструктивная высота (включает в себя высоту балки пролетного строения, выравнивающий слой, слой гидроизоляции, конструкцию дорожной одежды).

Конструктивная высота $h_{кон}$ принимается в зависимости от типа балки (табл. 18).

Например: Конструктивная высота $h_{кон} = 1,12 \text{ м.}$

$$h_m = 0,88 * 5,32 + 0,5 + 1,12 = 6,94 \text{ м.}$$

Минимальная высота моста составляет $h_m = 6,94 \text{ м.}$

Малые мосты могут быть нескольких вариантов (табл.17):

Вариант 1. Мост с пролетным строением из сборных составных балок длиной по 7,5 м с каркасной арматурой на свайных опорах с обсыпными устоями (рис. 18, а).

Значение коэффициентов $e=0,90$ и $\varphi=0,90$.

Таблица 17

Основные размеры типовых пролетных строений мостов

Пролет в свету, м	Длина пролетного строения, м	Строительная высота, м	Высота балок, м	Длина пролетного строения, м	Высота балок, м		
					плитных	балочных	
	<i>Балки с каркасной арматурой</i> (вып. 56 доп., СДП)			<i>Унифицированные сборные пролетные строения</i>			
	7,50	8,66	0,86	0,70	6,00	0,30	—
	10,00	11,36	0,96	0,80			
	12,50	14,06	1,01	0,85	9,00	0,45	—
	15,00	16,76	1,16	1,00			
	20,00	22,16	1,40	1,25	12,00	0,60	0,90
	<i>Балки с натяжением пучковой арматуры до бетонирования</i> (вып. 122, СДП)			15,00	0,60	0,90	
					18,00	0,75	0,90
	10,00	11,36	1,01	0,85			
	12,50	14,06	1,01	0,85	24,00	—	1,20
	15,00	16,76	1,16	1,00			
	20,00	22,16	1,36	1,20	33,00	—	1,50
	<i>Балки с предварительно напряженной арматурой</i> (вып. 123, СДП)			42,00	—	2,10	
				<i>Сборные плитные пролетные строения (5-04-145 Белгипродор)</i>			
	12,50	14,06	1,15	1,00			
15,00	16,76	1,15	1,00	3,00	0,30	—	
20,00	22,16	1,36	1,20				
<i>Балки без диафрагм с напряжением арматуры после бетонирования</i>			6,00	0,45	—		
15,00	16,76	1,10	0,95				
20,00	22,16	1,40	1,25				

Таблица 18

Пролет балки в свету, м	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	32,0	35,0
Длина балки, м	12	15	18	21	24	33	38
Конструктивная высота, м	1,12	1,12	1,42	1,42	1,42	1,74	1,74

Отверстие моста определится по формуле (35):

$$B_{cp} = Q / e h_0 v_{дон}, \quad (35)$$

Глубина потока перед мостом определяется по формуле (36):

$$H = h_0 + 0,05 v_{дон}^2 / \varphi^2 \quad (36)$$

Поскольку мост с конусами, то сечение трапециидальное и при несвободном истечении отверстие считается равным средней линии трапеции. Глубина потока в сооружении $h_m = h_0$. Отверстие по дну при откосах конуса 1:1,5 будет ориентировочно равно по формуле (37):

$$b_1 = B_{cp} - m h_m, \quad (37)$$

Запас от низа пролетного строения до подпертого уровня воды $Z = 0,5$ м. строительная высота моста принята по типовому проекту (прил.4).

Вариант 2. Мост с применением унифицированных сборных пролетных строений на свайных опорах по типовому проекту (прил.4, рис. 1б) при скорости $v_{дон}$ и несвободном истечении размеры моста принимаются такие как в варианте 1.

Вариант 3. Мост с плитным пролетным строением на свайных опорах с заборными стенками по типовому проекту (прил. 4, рис. 1в).

Для перекрытия расчетного отверстия моста принимают типовое пролетное строение (табл.19). Если один расчетный типовой пролет l_p не перекрывает расчетное отверстие, принимают два или более пролета.

Отверстие будет определено по формулам (38,39) :

$$b_m = l_p \quad (38)$$

$$b_m = l_{p1} + l_{p2} \quad (39)$$

При этом длина моста поверху L_m должна быть не более 25м.

Если $L_m > 25$ м, следует принять более прочный тип укрепления русла с большими значениями $v_{доп}$ и H , но меньшим значением расчетного отверстия b .

Таблица 19

Основные размеры типовых пролетных строений мостов

Серия типового проекта	Инвент. номер	Наименование проекта	Длина пролетного строения, $l_{пр}$, м	Расчетный пролет, l_p , м	Строительная высота, $h_{конс}$, м
3.503 - 12	384/43	Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона (пустотные плиты, армированные стержневой арматурой)	6,0	5,60	0,42
			9,0	8,60	0,57
			12,0	11,40	0,72
			15,0	14,40	0,72
			18,0	17,40	0,87
3.503-14	710/2	Сборные железобетонные пролетные строения для автодорожных мостов	12,0	11,40	1,02
			15,0	14,40	1,02
			18,0	17,40	1,17
			11,36	10,76	1,02
			14,06	13,46	1,02
			16,76	16,16	1,17
3.503-29		Сборные железобетонные плитные мосты	6,0	5,68	0,42
			9,0	8,68	0,57

1.2.5. Определение длины моста

Длину моста в зависимости от его конструкции определяют по следующим формулам (40,41,42):

при устоях с обратными стенками (прил.4, рис. 1а)

$$L_m = B + 2mH_m + \sum d + 2p + 2q, \quad (40)$$

где L_M – длина моста, м; B – отверстие моста, м; m – коэффициент крутизны откоса конусов; H_M – высота моста, считая от дна или уровня межени, м; $\sum d$ – сумма ширин промежуточных опор, м; p – расстояние от передней грани устоя до основания конуса, принимаемое обычно равным не менее 0,1 м; q – расстояние от задней грани устоя до вершины откоса конуса, принимаемое равным не менее 0,15 м;

при обсыпных опорах (прил.4, рис.1,б) сечение под мостом трапециидальное и длина моста определяется:

а) при свободном истечении

$$L_M = B + 2m(H_M - h_M) + \sum d + 2q, \quad (41)$$

б) при несвободном истечении

$$L_M = B_{cp} + 2m(H_M - h_M/2) + \sum d + 2q, \quad (42)$$

где h_M – высота моста, м; q – расстояние от вершины конуса до начала моста, определяемое по проекту моста и равное 0,75-1,0 м.

Схема малого моста приведена (рис. 18). План мостового перехода дан (рис. 19), укрепление мостового русла приведено (рис. 20).

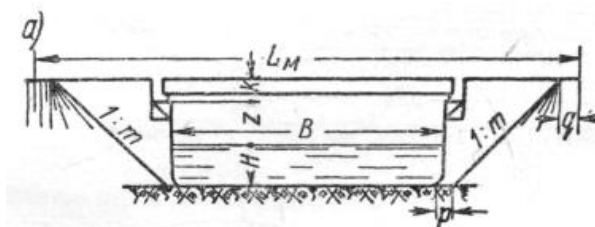


Рис.8. Схемы моста

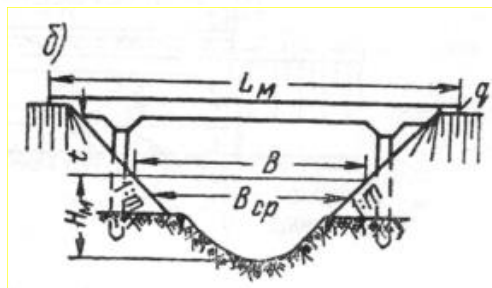
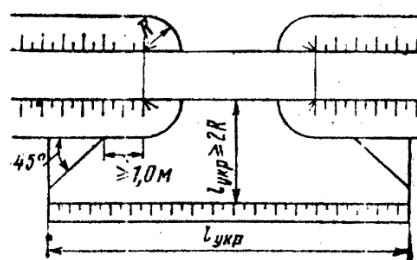


Рис. 19. Мостовой переход в плане трассы



1.2.7. Укрепление у моста

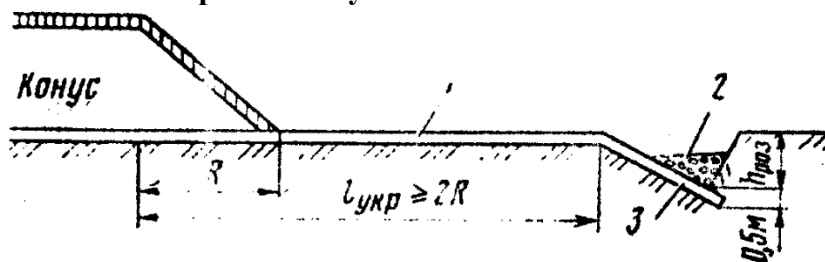


Рис. 20.
Укрепление
мостового русла

Определяем скорость потока за мостом по формуле (43):

$$V=1,5 \cdot V_c \quad (43)$$

Определяем высоту насыпи у моста - по продольному профилю
 Длину укрепления за мостом определяем по формуле (44):

$$L_{укр} = 2R = 2 \times 1,5 H_{нас} \quad (44)$$

где: R – радиус нижнего основания конуса

Относительная длина укрепления определяется по формуле (45):

$$A = \frac{l_{укр} \times tga}{b} \quad (45)$$

Например:

$$V = 1,5 \times 2,64 = 3,96 \text{ м/с}$$

$$H_{1нас} = 8,96 \text{ м} \cdot H_{2нас} = 5,0 \text{ м}$$

$$l_{укр}^1 = 2 \times 1,5 \times 8,96 = 26,88 \text{ м}$$

$$l_{укр}^2 = 2 \times 1,5 \times 5,0 = 15 \text{ м}$$

$$A = \frac{26,88 \times 1}{11,26} = 33$$

$$A = \frac{15 \times 1}{12,04} = 1,25$$

Определяем относительную глубину размыва по формуле (46):

$$n = \frac{h_{разм}}{H}$$

Определяем глубину ковша размыва по формуле (47):

$$h_{разм} = n \times H \quad (47)$$

Для других мостов, не рассчитываемых в курсовом проекте, величины B , H и тип укрепления принимаются такими же, как и для рассчитанного моста. Остальные величины для расчета моста принимаются конкретными для каждого из них и производится расчет длины всех мостов, имеющих на участке дороги.

Например:

$$h_1 = 0,74 \text{ м}$$

$$h_2 = 0,95 \text{ м}$$

$$h_p = 0,74 \times 1,04 = 0,77 \text{ м}$$

$$h_p = 0,74 \times 0,95 = 0,7 \text{ м}$$

Назначаем тип укрепления - бетоном М-150 толщиной 12 см. Основные расчетные данные малого моста заносим в «Ведомость расчетных характеристик искусственных сооружений».

Таблица

Ведомость расчетных характеристик искусственных сооружений

№№ п/п	Место- положение, ПК+	Вероятность превышения, ВП, %	Расчетный расход воды, м/с	Глубина подпер- той воды перед сооружением, м	Гидравлический режим	Тип и отверстие сооружения	Длина моста или трубы, м	Примеч.
1	ПК3+00	2	2,9	1,2	Без- напорный	Однооочковая Круглая, ж/б труба $d=1,5 \text{ м}$	25,33	С учетом аккумуляции
2	ПК12+40	1	15,88	1,04	Свободное протекание	3-хпролетный ж/б мост $l_{пр} = 13,46 \text{ м}$	42,28	-
3	ПК16+50	1	16,98	1,04	Свободное протекание	2-хпролетный ж/б мост $l_{пр} = 13,46 \text{ м}$	28,17	-

РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

2.1.1. Виды дорожных одежд и конструктивные слои

Дорожная одежда (ДО) – это инженерная многослойная конструкция, воспринимающая нагрузку от транспортных средств и передающая её на грунтовое основание или подстилающий грунт [1].

Жёсткая – одежда, работающая как плита конечных размеров, лежащая на упругом основании при свободном, штыревом или другом виде сопряжения плит. К жёстким относят дорожные одежды с цементобетонными покрытиями или асфальтобетонными покрытиями на бетонном основании.

Нежёсткая – одежда, работающая как слоистая система бесконечных в плане размеров на грунтовом основании.

К нежёстким дорожным одеждам (ДО) относятся одежды со слоями, устроенными из разного вида асфальтобетона (или дёгтебетонов), из материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими, а также из слабосвязных зернистых материалов (щебня, шлака, гравия и др.).

В многослойных конструкциях различают следующие *элементы дорожной одежды*:

Покрытие – это верхняя часть ДО, воспринимающая усилия от колёс транспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов.

Основание – часть конструкции ДО, расположенная под покрытием. Оно обеспечивает совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции, а также морозоустойчивость и осушение конструкции. Состоит из нескольких слоёв. При наличии неблагоприятных погодных-климатических и грунтового-гидрологических условий между несущим основанием и подстилающим грунтом устраивают дополнительные слои основания.

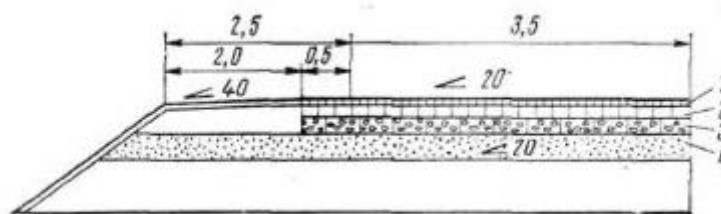
Рабочий слой земляного полотна (подстилающий грунт) – это тщательно уплотнённая и спланированная верхняя часть полотна, на которую укладывают дорожные одежды. Он находится в пределах от низа дорожной одежды до $2/3$ глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия. На рабочий слой передаётся и распределяется всё давление от транспортных нагрузок. Комплекс, включающий в себя дорожную одежду и земляное полотно с дренажными, водоотводными, удерживающими и укрепительными конструктивными элементами, называется дорожной конструкцией.

Пример дорожной конструкции приведён на рис. 2.1.

Рис.2.1 – Конструкция

дорожной одежды;

- 1 – верхний слой покрытия – мелкозернистый плотный асфальтобетон (5 см);
- 2 – нижний слой покрытия – крупнозернистый пористый асфальтобетон (8 см);
- 3 – верхний слой основания – песчано-гравийная смесь, укрепленная цементом (22 см);
- 4 – нижний слой основания – песок (30 см).



Покрытие назначается с учётом перспективной приведённой интенсивности движения.

2.1.2 Классификация по типу покрытия

Классификация дорожных одежд по типу покрытия приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Классификация дорожных одежд (ОДН 218.046-01, табл. 1.1)

Типы дорожных одежд		Материал и способ его укладки
Усовершенствованные покрытия	Капитальные	Из горячих асфальтобетонных смесей
		Цементобетонные монолитные
		Железобетонные, монолитные и сборные или из предварительно напряжённого цементобетона, армобетонные сборные и монолитные
	Облегченные	1. Из горячих асфальтобетонных смесей
		2. Из холодных асфальтобетонных смесей
		3. Из органоминеральных смесей: с жидкими органическими вяжущими; с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными
		4. Из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки
		5. Из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки
		6. Чёрного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки
		7. Из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой
8. Из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой		
Переходные		Щебёночные и гравийные; из грунтов и каменных материалов, обработанных вяжущими или армированных геосинтетическими материалами
Низшие		Из грунтов, армированных геосинтетическими материалами или улучшенных добавками

По виду покрытия дорожные одежды подразделяются на *усовершенствованные, переходные и низшего типа*.

Усовершенствованные покрытия используются на дорогах высоких категорий.

Дорожные одежды *переходного типа* используются на дорогах IV и V категорий.

Низшего типа – на дорогах V категории.

Усовершенствованные покрытия подразделяются на капитальные и облегченные.

Обычно дорожные одежды капитального типа проектируют на дорогах I и II-й категории, облегченного – III-й и IV-й категории [2, 3].

Этапы проектирования дорожных одежд нежесткого типа:

- Назначение типа дорожной одежды в зависимости от категории дороги;
- Назначение расчётной нагрузки на дорожные одежды;
- Конструирование дорожной одежды;
- Расчёты дорожной одежды на прочность;
- Расчёты дорожной одежды на морозоустойчивость и осушение.

2.2 Конструирование покрытий дорожной одежды

2.2.1 Задачи и принципы конструирования дорожных одежд

Процедура конструирования дорожных одежд (ДО) включает в себя:

- выбор покрытия;

- назначение числа конструктивных слоёв с выбором материалов и назначение их ориентировочных толщин. Обычно конструкция ДО состоит из одно- или двухслойного покрытия, основания, также состоящего из нескольких слоёв, и дополнительного слоя основания;

- назначение морозо- или теплозащитных мер, а также мер по повышению трещиностойкости и сдвигустойчивости слоёв, чувствительных к тепловлажностным воздействиям.

Материалы слоёв должны располагаться по толщине ДО с учётом прочности.

Прочность слоя материала должна убывать сверху – вниз.

Желательно, чтобы отношение модулей упругости смежных материалов находилось в пределах

$$\frac{E_1}{E_2} = 5 : 6.$$

Обычно дорожные одежды капитального типа проектируют на дорогах I-й и II-й категории и на дорогах III-й и IV категории с большой долей большегрузного транспорта. Капитальные покрытия устраивают из горячих асфальтобетонных смесей (см. табл. 1.1). Дорожные одежды облегченного типа устраивают на дорогах III-й и IV-й категории [1, 2].

Покрывтия в этом случае делают: из горячих и холодных асфальтобетонных смесей; чёрного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки; из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой и т.д. (см. табл. 1.1).

Вид, марку и тип асфальтобетона для покрытия назначают в соответствии с положениями действующих СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» и ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» [3,4].

Одной из основных задач при конструировании пакета асфальтобетонных слоёв является оптимизация толщины верхнего слоя из плотного или высоко плотного асфальтобетона.

Асфальтобетонное покрытие и основание должны быть, как правило, однослойным.

Двухслойное асфальтобетонное основание допустимо применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетона с пониженной сдвигустойчивостью (высокопористый, песчаный).

2.2.2 Классификация асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-2013

Асфальтобетонная смесь – это рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня (гравия) и песка с минеральным порошком или без него) с битумом, взятых в определённых соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии.

Асфальтобетон – это уплотнённая асфальтобетонная смесь. В зависимости от вида минеральной составляющей смеси подразделяют на щебёночные, гравийные и песчаные.

Горячие асфальтобетонные смеси – это смеси на вязких и жидких нефтяных дорожных битумах, применяемые непосредственно после приготовления с температурой не ниже 120 °С.

Холодные асфальтобетонные смеси – смеси на жидких нефтяных дорожных битумах, допускаемые к длительному хранению и применяемые с температурой не ниже 5 °С.

В зависимости от наибольшего размера зёрен минеральных материалов смеси подразделяют на:

- крупнозернистые – с зёрнами размером до 40 мм;
- мелкозернистые – с зёрнами размером до 20 мм;

- песчаные – с зёрнами размером до 10 мм.

В зависимости от значения остаточной пористости ϵ горячие асфальтобетонные смеси подразделяют на:

- высокоплотные $1 < \epsilon \leq 2,5 \%$;
- плотные $2,5 < \epsilon \leq 5 \%$;
- пористые $5 < \epsilon \leq 10 \%$;
- высокопористые $\epsilon > 10\%$.

Холодные асфальтобетоны должны иметь остаточную пористость $6 < S_{щ} \leq 60\%$.

В зависимости от содержания в асфальтобетонных смесях щебня (гравия) $S_{щ}$ горячие щебёночные и гравийные асфальтобетонные смеси и плотные асфальтобетоны подразделяют на типы:

А – $50\% < S_{щ} \leq 60\%$;

Б – $40\% < S_{щ} \leq 50\%$;

В – $30\% < S_{щ} \leq 40\%$.

Холодные щебёночные или гравийные асфальтобетонные смеси и плотные асфальтобетоны подразделяют на типы:

Бх – $40\% < S_{щ} \leq 50\%$;

Вх – $30\% < S_{щ} \leq 40\%$.

Горячие песчаные смеси и асфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяются на типы Г (на песках из отсеков) и Д (на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления).

Холодные песчаные смеси и асфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяются на типы Гх (на песках из отсеков) и Дх (на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления).

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяют на марки, указанные в табл. 2.2 [4].

Таблица 2.2

Марки асфальтобетонных смесей (ГОСТ 9128-2013, табл. 1)

Вид и тип смесей из асфальтобетона			Марка
по температуре	по плотности	тип	
горячие	высокоплотные		I
	плотные	A	I, II
		Б, Г	I, II, III
		В, Д	II, III
	пористые		I, II
холодные	высокопористые щебёночные		I
	высокопористые песчаные		II
	$6 < \epsilon \leq 10 \%$	Бх, Вх	I, II
		Гх	I, II
		Дх	II
	высокопористые щебёночные		I

2.2.3 Конструирование покрытий дорожных одежд капитального типа

Покрытия устраивают из горячих асфальтобетонных смесей.

На дорогах I, II-й категорий в верхнем слое дорожной одежды используется плотный асфальтобетон I-й марки мелкозернистый (щебёночный или гравийный) типов А, Б и песчаный типа Г.

Марка битума назначается в соответствии с приложением А к ГОСТ 9128-2013 в зависимости от категории дороги и дорожно-климатической зоны (см. Приложение).

В табл. 2.2 приведены марки битума, используемые в II и III дорожно-климатических зонах, в соответствии с ГОСТ 9128-2013.

Таблица 2.3

**Применяемые марки битума для капитальных покрытий
во II и III дорожно-климатических зонах**

Вид асфальто- бетона	Категория автомобильной дороги					
	I, II		III		IV	
	Типы и марка смеси	Марка битума	Типы и марка смеси	Марка битума	Типы и марка смеси	Марка битума
Плотный из горячих смесей	Типы А, Б, В, Г марка I	БНД 60/90 БНД 90/130	Типы А, Б, В, Г, Д марка II	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130	Типы Б, В, Г, Д марка III	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130

2.2.4 Конструирование покрытий дорожных одежд облегченного типа

Дорожные одежды облегченного типа с асфальтобетонным и дёгтебетонным покрытием устраивают на дорогах III и IV категорий и на первой стадии двухстадийного строительства дорог II категории:

1. Верхний слой из горячих асфальтобетонных смесей – плотный мелкозернистый щебёночный (гравийный).

На дорогах III категории – II-й марки типов А, Б и В и песчаный асфальтобетон типов Г и Д. На дорогах IV-й категории – III-й марки типов Б и В, песчаный типов Г и Д.

2. Верхний слой из холодных асфальтобетонных смесей – асфальтобетон мелкозернистый щебёночный (гравийный).

На дорогах III категории – I-й марки типов Бх и Вх и песчаный асфальтобетон типов Гх.

На дорогах IV-й категории – II-й марки типов Бх и Вх, песчаный типов Гх и Дх.

3. Покрытие из пористого асфальтобетона с устройством поверхностной обработки или из высокопористого асфальтобетона с устройством двойной поверхностной обработки допускается устраивать на дорогах с перспективной интенсивностью движения до 3000 авт./сут и при стадийном строительстве.

Соответствующие марки смеси и марки битума приведены в табл. 2.4.

Например, для Красноярского края используется битум марки БНД 90/130.

Таблица 2.4

**Применяемые марки битума для облегченных покрытий во II и III
дорожно-климатических зонах**

Вид асфальтобетона	Категория автомобильной дороги			
	III		IV	
	Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума
Плотный из горячих смесей	Типы А, Б, В, Г, Д марка II	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130	Типы Б, В, Г, Д марка III	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130
Из холодных смесей	I	СГ 70/130	II	СГ 70/130 МГ 70/130 МГО 70/130

4. Из органоминеральных смесей: с жидкими органическими вяжущими; с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными.

5. Из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки.

6. Из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки.

7. Чёрного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки.

8. Из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой. Дорожные одежды с покрытием из щебня, гравия и песка, обработанных вяжущими устраивают на дорогах IV и V категорий.

2.2.5. Назначение толщины покрытия

Предварительно толщину покрытия из асфальтобетона облегченных дорожных одежд следует назначать равной 4-6 см, а при использовании других материалов (дөгтебетонные, из чёрного щебня, из щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, из крупнообломочных материалов, из песчаных или супесчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) – равной 6-8 см. Окончательно толщину покрытия устанавливают расчётом. Независимо от результатов расчёта на прочность дорожной одежды толщины конструктивных слоев в уплотненном состоянии следует принимать не менее приведенных в табл. 2.5 значений.

Таблица 2.5

Минимальная толщина слоёв дорожной одежды(СП 34.13330.2012, табл. 8.9)

Материалы слоёв дорожной одежды	Толщина слоя, см
Крупнозернистый асфальтобетон (с размером зёрен до 40 мм)	7
Мелкозернистый асфальтобетон (с размером зёрен до 20 мм)	5
Щебёночно-мастичный асфальтобетон (до 10 мм) и песчаный асфальтобетон (до 5 мм)	3
Щебёночные (гравийные) материалы, обработанные органическим вяжущим	8
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8
Щебёночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими:	
на песчаном основании	15
на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта)	8
Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10

Примечание: Толщину конструктивного слоя следует принимать во всех случаях не менее двойного размера наиболее крупной фракции применяемого минерального материала.

Если асфальтобетонные слои и слои, содержащие органическое вяжущее, укладывают на слои основания, укрепленные цементом, то толщину слоёв из материалов, содержащих органическое вяжущее (для ограничения появления «отражённых» трещин на покрытии) нужно принимать, как правило, не менее толщины слоёв, укрепленных цементом.

При этом минимальная толщина слоёв с органическими вяжущими должна соответствовать данным табл. 2.6.

Таблица 2.6

Ограничения на толщину слоёв (СП 34.13330.2012, табл. 7.6)

Тип дорожной одежды	Наименьшая толщина слоёв из материалов, содержащих органическое вяжущее, уложенных на слои, укрепленные цементом, см
Капитальные	18
Облегченные	12

Пример конструкции дорожной одежды капитального типа:

- 1-й слой покрытия. Горячий мелкозернистый плотный асфальтобетон. Тип Б, марка II – 5 см.
- 2-й слой покрытия. Горячий крупнозернистый пористый асфальтобетон – 7 см.
3. Основание. Фракционированный щебень, уложенный по способу заклинки – 20 см.
4. Дополнительный слой. Гравийно-песчаная смесь С4 – 35 см.
5. Грунт земляного полотна – суглинок легкий.

2.3. Конструирование оснований дорожной одежды

2.3.1. Конструирование оснований дорожных одежд капитального типа

Слои основания из горячего пористого крупнозернистого асфальтобетона.

Его устраивают в верхней части несущего основания на дорогах, предназначенных для движения автомобилей грузоподъемностью 8 и более тонн, при устройстве покрытий толщиной 3-5 см.

Размер зёрен – до 40 мм. Горячий пористый асфальтобетон имеет марку I и II [4].

Марка битума применяется та же самая, что и в покрытии.

Асфальтобетонное основание должно быть, как правило, однослойным.

Двухслойное асфальтобетонное основание допустимо применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетона с пониженной сдвигоустойчивостью, к которым относятся высокопористый ($10\% < \epsilon$) и песчаный. В этом случае слой из пористого асфальтобетона укладывают на слой из горячего высокопористого щебеночного крупнозернистого асфальтобетона или горячего высокопористого песчаного асфальтобетона. Марка указана в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Марки асфальтобетона для оснований

Вид и тип смесей из асфальтобетона			Марка
по температуре	по плотности	тип	
горячие	пористые		I, II
	высокопористые щебеночные		I
	высокопористые песчаные		II
холодные	$6 < \epsilon \leq 10 \%$	Бх, Вх	I, II
		Гх	I, II
		Дх	II
	высокопористые щебеночные		I

Несущий слой основания из прочных материалов. Несущий слой основания капитальных дорожных одежд также устраивают из таких прочных материалов, как дёгтебетон; щебеночные смеси, обработанные битумной эмульсией; фракционированный щебень, обработанный вязким битумом по способу пропитки; фракционированный щебень, уложенный по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированный активным шлаком.

Если в качестве несущего слоя основания применяется слой из щебня, укрепленного по методу пропитки цементно-песчаной смесью, то минимальная толщина слоёв капитальной дорожной одежды, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на

него, должна быть не менее 18 см (табл. 2.6) и не менее толщины слоёв, укреплённых цементом. Это необходимо для ограничения появления «отражённых» трещин на покрытии.

Слой основания из щебня, уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированный активным шлаком. В этом случае применяют щебень, отвечающий требованиям ГОСТ 25607, ГОСТ 8267, ГОСТ 3344 и [5-7]. В качестве основного материала используют щебень фракции 40-70 (80) мм или фракции 70(80) -120 мм, а в качестве расклинивающего – фракции 5-10, 10-20 и 20-40 мм.

При устройстве оснований дорожных одежд из щебня фракции 40-70 (80) мм для расклинки допускается применять щебёночно-песчаные смеси С10, С11 по ГОСТ 25607 вместо фракции 5-10 мм (см. Приложение Б).

По прочности марка щебня на сжатие должна быть в соответствии с табл. 3.2.

Таблица 3.2

Марки щебня по прочности для оснований (СП 34.13330.2012, табл. 8.13)

Материал	Марка по прочности на сжатие (раздавливание) не менее, МПа для дорог	
	I-III категорий	IV – V категорий
Щебень из изверженных и метаморфических пород	800	800
Щебень из осадочных пород	600	400
Щебень из шлаков чёрной и цветной металлургии, фосфорных	600	400
Щебень из гравия	600	400

В случае укладки каменных материалов на глинистые грунты предусматривают прослойку из геосинтетических материалов или прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водостойчивых материалов.

2.3.2. Конструирование оснований дорожных одежд облегченного типа

На дорогах III и IV категорий целесообразно устраивать основание дорожной одежды из гравийного пористого асфальтобетона; гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией, дёгтями и другими органическими вяжущими; различных материалов, грунтов и побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими или комплексными вяжущими, щебёночных и щебёночно-гравийных смесей.

Если в качестве несущего слоя основания применяется *слой из щебня, укреплённый по методу пропитки цементно-песчаной смесью*, то минимальная толщина слоёв облегченной дорожной одежды, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на него, должна быть не менее 12 см (табл. 2.6) и не менее толщины слоёв, укреплённых цементом. Это необходимо для ограничения появления «отражённых» трещин на покрытии.

Слой основания из щебня, уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированный активным шлаком. При этом в качестве основного материала используют щебень фракции 40-70 (80) мм или фракции 70(80) -120 мм, а в качестве расклинивающего – фракции 5-10, 10-20 и 20-40 мм.

При устройстве оснований дорожных одежд из щебня фракции 40-70 (80) мм для расклинки допускается применять щебёночно-песчаные смеси С10, С11 по ГОСТ 25607 вместо фракции 5-10 мм. По прочности марка щебня на сжатие должна быть в соответствии с табл. 3.2.

2.3.3. Дополнительные слои основания

Между конструктивным слоем из каменных материалов и слоем из мелкозернистых грунтов предусматривают прослойку из геосинтетического материала или прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водоустойчивых материалов.

Для устройства дополнительных слоёв основания могут быть применены смеси СЗ - С11 по ГОСТ 25607-2009 [5] и пески по ГОСТ 8736-2014 [6].

Коэффициент фильтрации смесей и песков должен быть не менее 1 м/сут.

2.3.4. Минимальная толщина слоёв

Минимальную толщину слоёв устанавливают в соответствии с табл.3.3.

Толщину конструктивного слоя следует принимать во всех случаях не менее чем двойного размера наиболее крупной фракции применяемого минерального материала.

Таблица 3.3

Минимальная толщина слоёв основания (СП 34.13330.2012, табл. 8.9)

Материалы слоев дорожной одежды	Толщина слоя, см
Крупнозернистый асфальтобетон (с размером зерен до 40 мм)	7
Мелкозернистый асфальтобетон (с размером зерен до 20 мм)	5
Щебёночно-мастичный асфальтобетон (до 10 мм) и песчаный асфальтобетон (до 5 мм)	3
Щебёночные (гравийные) материалы, обработанные органическим вяжущим	8
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8
Щебёночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими: на песчаном основании	15
на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта)	8
Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10

Таблица 3.4

Зерновой состав готовых смесей для устройства оснований и дополнительных слоев оснований (ГОСТ 25607-2009)

Но- мер смеси	Наиболь- ший размер зерен Д, мм	Полный остаток, % по массе, на ситах с размерами отверстий, мм									
		120	80	40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
Смеси для покрытий											
C1	40	0	0	0-10	20-40	35-60	45-70	55-80	70-90	75-92	80-93
C2	20	0	0	0	0-10	10-35	25-50	35-65	55-80	65-90	75-92
Смеси для оснований (непрерывная гранулометрия)											
C3	120	0-10	10-30	30-50	40-65	54-75	65-85	71-90	82-95	90-98	95-100
C4	80	0	0-10	15-35	28-55	40-70	50-80	60-85	80-95	91-97	95-100
C5	40	0	0	0-10	25-60	45-80	57-85	67-88	80-95	90-97	95-100
C6	20	0	0	0	0-10	25-60	50-77	58-85	80-95	90-97	95-100
C7	10	0	0	0	0-5	0-37	30-60	50-77	75-95	85-97	90-100
C8	5	0	0	0	0	0-5	0-40	20-55	55-87	75-98	80-100
Смеси для оснований (прерывистая гранулометрия)											
C9	80	0	0-10	15-35	28-55	40-70	50-80	50-80	60-88	85-97	95-100
C10	40	0	0	0-10	25-60	45-80	57-85	57-85	71-91	87-97	95-100
C11	20	0	0	0	0-10	25-60	50-77	50-77	70-88	85-97	95-100
Примечания											
1 Допускается использование смесей C1 и C2 для устройства оснований при соответствующем технико-экономическом обосновании; C3-C6, C9-C11 - для устройства дополнительных слоев оснований; C4-C5, C10-C11 - для укрепления обочин автомобильных дорог.											
2 Смеси C1 и C2, применяемые для покрытия, должны содержать не менее 50 % щебня от массы частиц размером более 5 мм, входящих в состав смесей.											

2.4 Расчётные параметры подвижной нагрузки на дорожные одежды

2.4.1 Виды нагрузок, учитываемых при проектировании дорожной одежды

Расчёт дорожной одежды на прочность осуществляют с учётом нормативной осевой нагрузки, расчётной осевой нагрузки для конкретного потока и расчётной удельной нагрузки.

Нормативная осевая нагрузка – это полная нагрузка от наиболее нагруженной оси условного двухосного автомобиля.

Значение нормативной осевой нагрузки принимают в зависимости от капитальности дорожной одежды:

- при капитальном типе дорожной одежды она составляет 115 кН;
- при облегченном и переходном типах – 100 кН [3,7].

Расчётная осевая нагрузка – это максимальная нагрузка на наиболее нагруженную ось для двухосных автомобилей или на приведённую ось для многоосных автомобилей.

Доля таких автомобилей в составе и интенсивности движения должна составлять не менее 5 %. Если максимальная осевая нагрузка меньше нормативной, то в качестве расчётной принимают нормативную осевую нагрузку.

Удельная нагрузка – это нагрузка на дорожную одежду от колеса расчётного двухосного автомобиля. Она моделируется, как гибкий круговой штамп диаметром D , передающий равномерно распределённую нагрузку p на покрытие дорожной одежды. Площадь круга равновелика площади отпечатка колеса.

Диаметр круга принимают равным 39 см для подвижной нагрузки (при расчётах дорожной одежды на перегоне) и 34 см для статической нагрузки (используемой при расчёте дорожных одежд на автомобильных стоянках).

Величину p принимают равной давлению воздуха в шинах. Оно составляет 0,8 МПа для автомобильных дорог с капитальными дорожными одеждами и 0,6 МПа для автомобильных дорог с облегченными и переходного типа дорожными одеждами [7].

2.4.2 Определение расчётной осевой нагрузки

Расчётную осевую нагрузку находят в следующей последовательности [1].

1. Сначала определяют перспективную интенсивность движения на конец межремонтного периода $N_{\text{пер}}$. Обычно её находят по формуле

$$N_{\text{пер}} = N_{\text{исх}} \left(1 + \frac{p}{100}\right)^t \quad (4.1.)$$

где $N_{\text{исх}}$ – исходная интенсивность движения, авт./сут; p – ежегодный прирост интенсивности, %; t – перспективный период, годы.

3. Определяют по формуле (4.2) приведённую к расчётному двухосному автомобилю интенсивность движения с помощью специальных коэффициентов

$$N_p = f_{\text{пол}} \sum_{m=1}^n N_m S_{m \text{ сум}}, \text{ груз.ед./сут,} \quad (4.2)$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним; n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока; N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m -й марки (интенсивность движения транспортных средств m -й марки); $S_{m \text{ сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m -й марки, значения которого приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Коэффициенты приведения (ОДН 218.046-01, табл. П.1.3)

Типы автомобилей	Коэффициент приведения к расчётной нагрузке $S_{т\text{ сум}}$
Легковые автомобили	0
Лёгкие грузовые автомобили грузоподъёмностью от 1 до 2 т	0,005
Средние грузовые автомобили грузоподъёмностью от 2 до 5 т	0,2
Тяжёлые грузовые автомобили грузоподъёмностью от 5 до 8 т	0,7
Очень тяжёлые грузовые автомобили грузоподъёмностью более 8 т	1,25
Автобусы	0,7
Тягачи с прицепами	1,5

Расчёты интенсивности движения удобно вести в табличной форме (табл.4.2).

Например:

$$N_{пер}=7052 \text{ авт./сут и } n = 7.$$

Таблица 2.4.2

Пример расчёта интенсивности в табличной форме

m	Вид транспортного средства	% в потоке	N_m , авт./сут	$S_{т\text{ сум}}$	$N_m \cdot S_{т\text{ сум}}$, груз.ед./сут
1	легковые	51	3597	0	0
2	грузовые с нагрузкой на ось: до 2 т	12	846	0,005	4,23
3	от 2 до 6 т	11	776	0,2	155,14
4	от 6 до 8 т	9	635	0,7	444,28
5	от 8 до 14 т	9	635	1,25	793,35
6	автопоезда	6	423	1,5	634,68
7	автобусы	2	141	0,7	98,73
Итого:		100	7052	-	2130,41

Тогда, по примеру

$$\sum_{m=1}^7 N_m S_{т\text{ сум}} = 2130,41 \text{ груз.ед./сут.}$$

Коэффициент $f_{пол}$ назначают по табл. 4.3.

Порядковый номер полосы считается справа по ходу движения в одном направлении. Для двухполосных дорог $f_{пол}=0,55$. В случае автомобильных дорог с многополосной проезжей частью дорожную одежду для всех полос движения рассчитывают на одинаковую наибольшую расчётную нагрузку. Для шестиполосных $f_{пол} = 0,3$.

Таблица 2.4.3.

Коэффициент многополосности(ОДН 218.046-01, табл. 3.2)

Число полос движения	Значение коэффициента $f_{пол}$ для полосы с номером от обочины		
	1	2	3
1	1,00	-	-
2	0,55	-	-
3	0,50	0,50	-
4	0,35	0,20	-
6	0,30	0,20	0,05

Например:

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n N_m S_{т\text{ сум}} = 0,3 \cdot 2130,41 = 639,1 \text{ груз.ед./сут.}$$

3. Находят суммарное расчётное число приложений расчётной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы по формуле

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{cl}-1)}} T_{рдг} k_n, \quad (4.3.)$$

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

T_{cl} – расчётный срок службы; K_c – коэффициент суммирования; $T_{рдг}$ – расчётное число расчётных дней в году, соответствующих определённому состоянию деформируемости конструкции; k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.

3.1. Показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам

$$q = \left(1 + \frac{p}{100}\right), \quad (4.4)$$

где p – ежегодный прирост интенсивности движения, %.

3.2 Расчётный срок службы T_{cl} задают по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Расчётный срок службы(ОДН 218.046-01, табл. П.6.2)

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Срок службы в дорожно-климатических зонах T_{cl} , лет		
		I, II	III	IV, V
I	Капитальные	14-15-18	15-19	16-20
II	Капитальные	11-15	12-16	13-16
III	Капитальные	11-15	12-16	13-16
	Облегченные	10-13	11-14	12-15
IV	Капитальные	11-15	12-16	13-16
	Облегченные	8-10	9-11	10-12
V	Облегченные	8-10	9-11	10-12
	Переходные	3-8	3-9	3-9

3.3 Коэффициент суммирования K_c определяют по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{cl}} - 1}{q - 1}.$$

Значение K_c также можно принять по табл. 4.5.

Таблица 2.4.5

Значение K_c (ОДН 218.046-01, табл. П.6.3)

Показатель q	Значение K_c при сроке службы дорожной одежды T_{cl} в годах			
	8	10	15	20
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

3.4. Расчётное число расчётных дней в году $T_{рдг}$ определяют по региональным нормам. При их отсутствии допускается использовать данные рис. 4.1 и табл. 4.6.

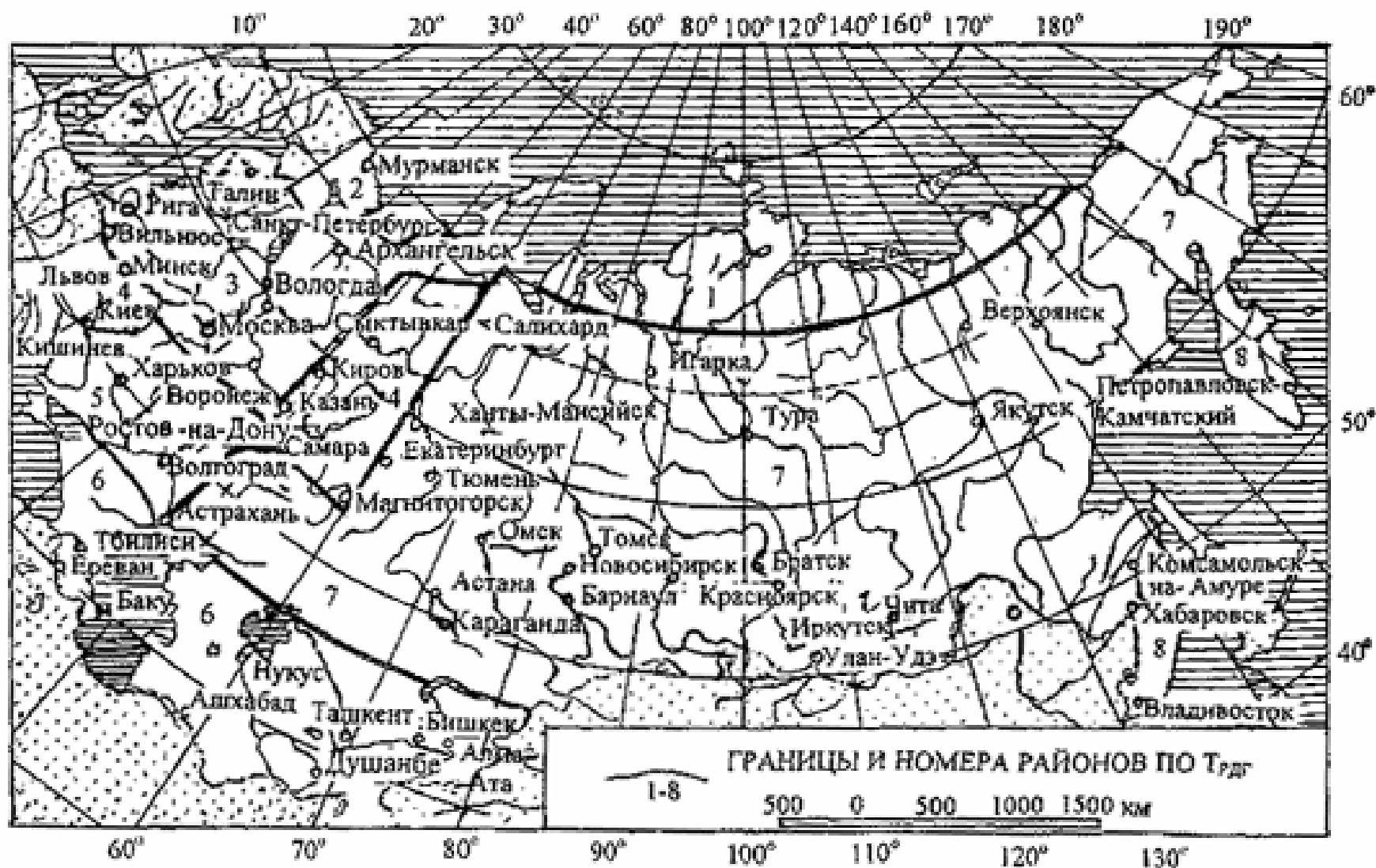


Рис. 4.1 Карта районов(ОДН 218.046-01, рис. П.6.1)

Таблица 2.4.6.

Рекомендуемое количество расчётных дней в году (ОДН 218.046-01, табл. П.6.1)

Номера районов на карте	Примерные географические границы районов	Рекомендуемое количество расчётных дней в году ($T_{\text{рдг}}$)
1	Зона распространения вечномёрзлых грунтов севернее семидесятой параллели	70
2	Севернее линии, соединяющей Онегу - Архангельск - Мезень - Нарьян-Мар - шестидесятый меридиан - до побережья Европейской части	145
3	Севернее линии, соединяющей Минск - Смоленск - Калугу - Рязань - Саранск - сорок восьмой меридиан - до линии, соединяющей Онегу - Архангельск - Мезень - Нарьян-Мар	125
4	Севернее линии, соединяющей Львов - Киев - Белгород - Воронеж - Саратов - Самару - Оренбург - шестидесятый меридиан до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии, соединяющей Ростов-на-Дону - Элисту - Астрахань до линии Львов - Киев - Белгород - Воронеж - Саратов - Самара	145
6	Южнее линии Ростов-на-Дону - Элиста - Астрахань для Европейской части, южнее сорок шестой параллели для остальных территорий	205
7	Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краев, Камчатской области), ограниченные с севера семидесятой параллелью, с юга сорок шестой параллелью	130-150 (меньшие значения для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края. Камчатская область	140

Для Восточной и Западной Сибири можно принять $T_{\text{рдг}} = 130$ дней. Расчётным днём считается день, в течение которого сочетание состояния грунта земляного полотна по влажности и температуре асфальтобетонных слоев конструкции обеспечивает возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях дорожной одежды.

3.1 Коэффициент k_n , учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого находят по табл. 2.4.7.

Таблица 2.4.7

Значения коэффициентов k_n (ОДН 218.046-01, табл. 3.3)

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

Пример расчёта подвижной нагрузки

Требуется вычислить суммарное расчётное количество приложений расчётной нагрузки за срок службы по формуле (4.3) при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края;

- категория автомобильной дороги – I;

- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{\text{сл}} = 20$ лет;

- заданная надёжность $K_n = 0,95$;

- приведённая к нагрузке 115 кН интенсивность движения на конец срока службы
 $N_p = 639$ груз.ед./сут;

- приращение интенсивности $q = 1,04$;

В соответствии с данными табл. 4.5 $K_c = 29,8$.

Расчётная продолжительность $T_{pdc} = 130$ дней (табл. 4.6).

Коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, $K_n = 1,49$ (табл. 4.7).

Тогда

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{cl}-1)}} T_{pdc} k_n = 0,7 \cdot 639 \cdot \frac{29,8}{1,04^{(20-1)}} \cdot 130 \cdot 1,49 = 1225700 \text{ груз.ед.}$$

2.5. Критерии надёжности дорожной одежды

2.5.1. Понятие надёжности дорожной одежды, критериев отказа и надёжности

Дорожная одежда, как любой технический объект, должна обладать надёжностью и долговечностью.

В соответствии с ГОСТ Р 27.002-2009 «Надёжность в технике. Термины и определения» под *надёжностью технического объекта* понимают его способность выполнять требуемую функцию в заданных режимах и условиях применения.

Отказом технического объекта считается потеря способности технического объекта выполнить требуемую функцию.

Долговечность – это способность технического объекта выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при данных условиях его использования (климатических, технических или экономических) и технического обслуживания [8].

Функция дорожной одежды заключается в восприятии нагрузки от автомобильного транспорта и перераспределении её на грунт земляного полотна. Надёжность дорожной одежды обеспечивается её прочностью.

Под *прочностью дорожной одежды* понимают способность сопротивляться процессу развития остаточных деформаций и разрушений под воздействием напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от расчётной нагрузки.

Нарушение прочности является *отказом дорожной одежды*.

Критерий отказа по прочности может быть записан в виде неравенства [1]:

$$K_{пр} < K_{пр}^{тр}$$

где $K_{пр}$ – коэффициент прочности; $K_{пр}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности, а *критерий надёжности* – в виде неравенства:

$$K_{пр} \geq K_{пр}^{тр}$$

Коэффициент прочности представляет собой отношение напряжений (нормальных или касательных) от расчётной нагрузки:

$$K_{пр} = \frac{\sigma_{доп}}{\sigma_{расч}},$$

где $\sigma_{доп}$ – допустимые напряжения от расчётной нагрузки, которые не приводят к отказу;

$\sigma_{расч}$ – расчётные напряжения от расчётной нагрузки, т.е. фактические напряжения, которые могут возникнуть в проектируемой конструкции под действием расчётной нагрузки.

Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ зависит от:

- типа дорожной одежды, категории дороги,
- величины заданной надёжности,

- вида отказа конструкции дорожной одежды.

Мерой надёжности дорожной одежды является вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода. Её значение нормируется коэффициентом надёжности K_n . Математическая запись

$$P(K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}) = K_n$$

означает, что вероятность выполнения условия надёжности (5.2) равна K_n .

Используемые в проектировании дорожных одежд значения коэффициента надёжности приведены в табл. 5.1.

В качестве количественного показателя отказа дорожной одежды, как элемента инженерного сооружения линейного характера, используют предельный коэффициент разрушения $K_p^{\text{пр}}$. Он представляет собой отношение суммарной протяжённости (или суммарной площади) участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности дорожной одежды, к общей протяжённости (или общей площади) дороги между корреспондирующими пунктами.

Предельный коэффициент разрушения назначается в зависимости от типа покрытия и категории дороги. Его значения приведены в табл. 2.5.1.

Таблица 2.5.1

Коэффициенты надёжности и прочности (ОДН 218.046-01, табл. 3.1)

Тип дорожной одежды		Капитальный										
Категория дороги		I		II		III			IV			
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{пр}$		0,05				0,10						
Заданная надёжность K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию:	упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87

Продолжение табл.2.5.1.

Тип дорожной одежды		Облегченный										
Категория дороги		III			IV				V			
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{пр}$		0,15										
Заданная надёжность K_n		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию:	упругого прогиба	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80

2.6. Характеристики материалов слоёв дорожной одежды

2.6.1. Исходные данные к расчёту дорожных одежд

Для расчёта дорожной одежды по критериям прочности необходимо назначить модули упругости конструктивных слоёв и грунта подстилающего слоя.

Пример таблицы с исходными данными для слоёв дорожной одежды капитального типа приведён в табл. 2.6.1.

Таблица 2.6.1

Пример исходных данных для слоёв дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвига- уст., E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8 W_t$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

2.6.2 Модули упругости подстилающего грунта

Пески и супесь лёгкая крупная.

Нормативные значения модулей упругости песчаных грунтов (пески крупные, средней крупности, мелкие и однородные) и супеси легкой крупной принимают по табл. 6.2 вне зависимости от относительной влажности грунта.

Супеси и суглинки. Модуль упругости этих грунтов зависит от относительной влажности (т.е. влажности, отнесённой к значению влажности грунта на границе его текучести). Расчётная влажность зависит от дорожно-климатической зоны и подзоны, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта. Дорожно-климатическую зону и подзону района проектирования определяют по карте (прил.5).

Таблица 2.6.2

Модули упругости песков, супесей и суглинков(ОДН 218.046-01, табл. П.2.5)

Грунт		$E_{гр}$, при относительной влажности W/W_t , МПа									
		0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески	крупные	130									
	средней крупности	120									
	мелкие	100									
	однородные	75									
	пылеватые	96	90	84	78	72	60	60	54	48	43
Супеси	лёгкая	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	пылеватая, тяжёлая пылеватая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	лёгкая крупная	65									
Суглинки	лёгкий, тяжёлый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	лёгкий пылеватый, тяжёлый пылеватый	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25

Если суммарная толщина дорожных одежд $Z_1 < 0,75$ м, то расчётную влажность назначают по табл. 2.6.3. В ней приведены средние многолетние значения относительной влажности грунта, наблюдавшиеся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, отвечающего нормам проектирования по возвышению над источниками увлажнения, на дорогах с усовершенствованными покрытиями и традиционными основаниями дорожных одежд (щебень, гравий и т.п.). При суммарной толщине слоёв дорожной одежды $Z_1 \geq 0,75$ м расчётную влажность определяют по формуле:

$$W_p = (\bar{W}_{таб} + \Delta_1 - \Delta_2)(1 + 0,1t) - \Delta_3 \quad (6.1)$$

где $\bar{W}_{таб}$ – среднее многолетнее значение относительной влажности, определяемое по табл. 6.3; Δ_1 – поправка на особенности рельефа территории; Δ_2 – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин; Δ_3 – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоёв дорожной одежды; t – коэффициент нормированного отклонения.

Поправку на особенности рельефа территории Δ_1 находят по табл. 2.6.4.

Таблица 2.6.3

Значения влажности грунта подстилающего слоя(ОДН 218.046-01, табл. П.2.1)

Дорожно-климатические зоны	Дорожно-климатические подзоны	Схема увлажнения рабочего слоя зем. полотна	Среднее значение влажности $\bar{W}_{таб}$ грунта, доли от W_t			
			супесь лёгкая	песок пылеватый	суглинок лёгкий	супесь пылеватая и суглинок пылеватый
I	I ₁	1	0,53	0,57	0,62	0,65
		2	0,55	0,59	0,65	0,67
		3	0,57	0,62	0,67	0,70
	I ₂	1	0,57	0,57	0,62	0,65
		2	0,59	0,62	0,67	0,70
		3	0,62	0,65	0,70	0,75
	I ₃	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,62	0,65	0,70	0,75
		3	0,65	0,70	0,75	0,80

Продолжение табл.2 6.3

Дорожно-климатические зоны	Дорожно-климатические подзоны	Схема увлажнения рабочего слоя зем. полотна	Среднее значение влажности $\bar{W}_{\text{таб}}$ грунта, доли от W_T			
			супесь лёгкая	песок пылеватый	суглинок лёгкий	супесь пылеватая и суглинок пылеватый
II	II ₁	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,63	0,65	0,68	0,73
		3	0,65	0,67	0,70	0,75
	II ₂	1	0,57	0,59	0,62	0,67
		2	0,60	0,62	0,65	0,70
		3	0,62	0,64	0,67	0,72
	II ₃	1	0,63	0,65	0,68	0,73
		2	0,66	0,68	0,71	0,76
		3	0,68	0,70	0,73	0,78
	II ₄	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,63	0,65	0,68	0,73
		3	0,65	0,67	0,70	0,75
	II ₅	1	0,65	0,67	0,70	0,75
		2	0,68	0,70	0,73	0,78
		3	0,70	0,72	0,75	0,80
	II ₆	1	0,62	0,64	0,67	0,72
		2	0,65	0,67	0,70	0,75
		3	0,67	0,69	0,72	0,77
III	III ₁	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
	III ₂	1	0,58	0,60	0,63	0,66
		2-3	0,62	0,64	0,66	0,70
	III ₃	1	0,55	0,57	0,60	0,63
IV	1		0,53	0,55	0,57	0,60
	2-3		0,57	0,58	0,60	0,64
V	1		0,52	0,53	0,54	0,57
	2-3		0,55	0,56	0,57	0,60

Таблица 26.4.

Значения поправки Δ_1 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.2)

№ п/п	Тип местности по рельефу	Поправка Δ_1
1	Равнинные районы	0,00
2	Предгорные районы (до 1000 м выше уровня моря)	0,03
3	Горные районы (более 1000 м выше уровня моря)	0,05

Поправку на конструктивные особенности проезжей части и обочин Δ_2 устанавливают по табл.2.6.5.

Поправку на влияние суммарной толщины стабильных слоёв дорожной одежды Δ_3 устанавливают по графику, приведённому на рис. 6.2.

Коэффициент нормированного отклонения t , принимают в зависимости от требуемого уровня надежности по табл. 2.6.6.

Таблица 2.6.6

Значения нормированного отклонения (ОДН 218.046-01, табл. П.4.2)

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

Таблица 2. 6.5.

Значения поправки Δ_2 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.3)

№ п/п	Конструктивная особенность	Поправка Δ_2 в дорожно-климатических зонах			
		II	III	IV	V
1	Наличие основания дорожной одежды, включая слои на границе раздела с земляным полотном, из укрепленных материалов и грунтов: - крупнообломочного грунта и песка - супеси - пылеватых песков и супесей, суглинка, зологрунта	0,04	0,04	0,03	0,03
		0,05	0,05	0,05	0,04
		0,08	0,08	0,06	0,05
2	Укрепление обочин (не менее 2/3 их ширины): - асфальтобетоном - щебнем (гравием)	0,05	0,04	0,03	0,02
		0,02	0,02	0,02	0,02
3	Дренаж с продольными трубчатыми дренами	0,05	0,03	-	-
4	Устройство гидроизолирующих прослоек из полимерных материалов	0,05	0,05	0,03	0,03
5	Устройство теплоизолирующего слоя, предотвращающего промерзание	Снижение расчётной влажности до величины полной влагоемкости при требуемом $K_{упл}$ грунта			
6	Грунт в активной зоне земляного полотна в «обойме»	Снижение расчётной влажности до оптимальной			
7	Грунт, уплотненный до $K_{упл} = 1,03-1,05$ в слое 0,3-0,5 м от низа дорожной одежды, расположенном ниже границы промерзания	-	0,03-0,05	0,03-0,05	0,03-0,05

Примечание. Поправки Δ_2 при мероприятиях по п.п. 1 и 2 следует принимать только при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя, а по п. 5 – при 2-й и 3-й схемах.

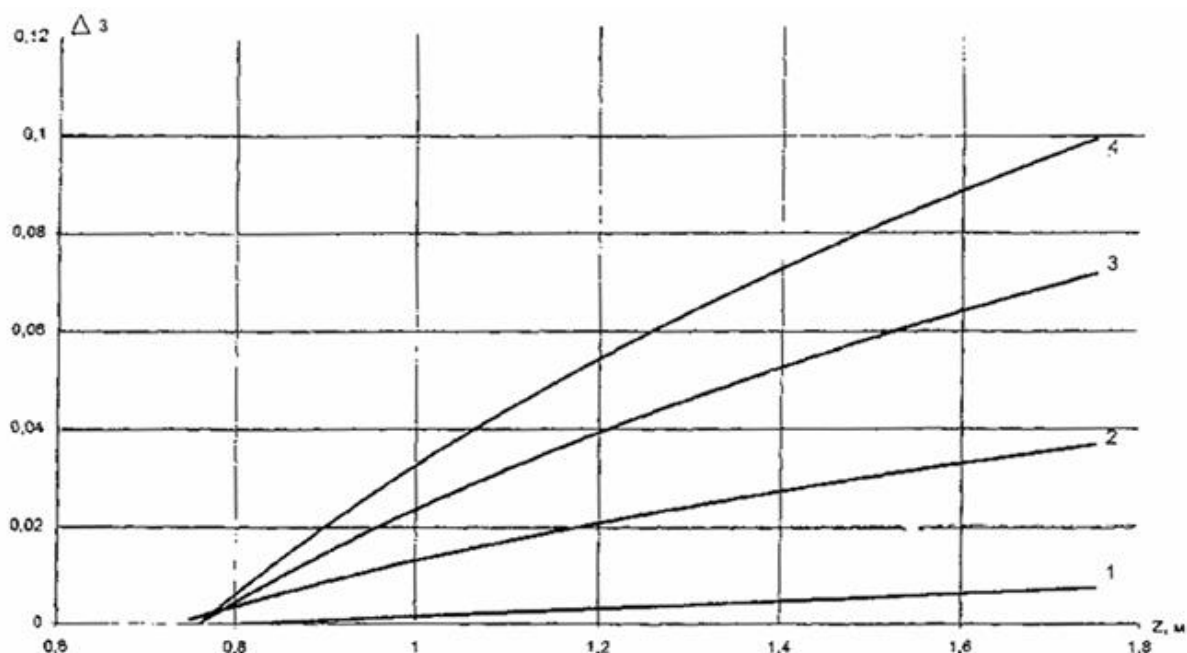


Рис.6.2 (ОДН 218.046-01, рис. П.2.1) Графики для определения поправки на влияние суммарной толщины стабильных слоев одежды:

1 – для исходной* относительной влажности 0,75Wm; 2 – то же, для 0,80Wm;
3 – то же, для 0,85Wm; 4 – то же, для 0,90Wm.

*Исходная влажность определяется первым слагаемым в выражении (6.1).

6.3 Нормативные значения сдвиговых характеристик подстилающего грунта
Нормативные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов в зависимости от расчётного числа приложений расчётной нагрузки и относительной влажности приведены в табл. 2.6.7.

Таблица 2.6.7

Нормативные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов
(ОДН 218.046-01, табл. П.2.4)

Расчётная относительная вл-ть	Сцепление, МПа при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)					Угол внутреннего трения, °, при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6	1	10^3	10^4	10^5	10^6
Суглинки и глины										
0,60	0,030	0,030	0,016	0,014	0,012	24	20	14,5	11	9
0,65	0,024	0,019	0,013	0,011	0,009	21	15	11	8	7
0,70	0,019	0,013	0,009	0,007	0,006	18	11,5	8,5	6,5	5,5
0,75	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004	15	10	7,5	5	4
0,80	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002	13	8	5	3	2,5
0,90	0,008	0,004	0,004	0,002	0,001	11,5	6,5	3,5	2,2	2
Супеси										
0,6	0,014	0,012	0,008	0,006	0,005	36	24	18	14	12
0,65	0,013	0,010	0,008	0,006	0,004	36	23,5	17	14	12
0,70	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	35	23,5	17	14	12
0,75	0,011	0,008	0,005	0,004	0,003	35	23	17	14	12
0,80	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	34	23	17	14	12
0,85	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	34	22	15	12	10
0,90	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	33	21	12,5	10	8

Примечание. При $\Sigma N_p > 10$ расчётные значения ϕ и c следует принимать по столбцу « 10^6 ».

Расчётные значения ϕ и c песчаных грунтов и песков конструктивных слоёв в зависимости от расчётного числа приложения расчётной нагрузки (ΣN_p) принимают по табл.2.6.8.

Таблица 2.6.8

Сдвиговые характеристики для песчаных грунтов, используемых в конструктивных слоях дорожной одежды (ОДН 218.046-01, табл. П.2.6)

№ п/п	Тип грунта		Сцепление, МПа и угол внутреннего трения, град при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
			1	10^3	10^4	10^5	10^6
1	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции:	0 %	<u>35</u> 0,004	<u>33</u> 0,003	<u>32</u> 0,003	<u>31</u> 0,003	<u>29</u> 0,003
		5 %	<u>34</u> 0,005	<u>31</u> 0,004	<u>36</u> 0,004	<u>29</u> 0,003	<u>28</u> 0,003
2	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции:	0 %	<u>32</u> 0,004	<u>30</u> 0,004	<u>30</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>22</u> 0,002
		5 %	<u>33</u> 0,005	<u>30</u> 0,004	<u>29</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>26</u> 0,002
3	Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции:	0 %	<u>11</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>22</u> 0,002	<u>26</u> 0,002	<u>25</u> 0,002
		5 %	<u>31</u> 0,005	<u>22</u> 0,004	<u>26</u> 0,004	<u>21</u> 0,004	<u>24</u> 0,003
		8 %	<u>11</u> 0,006	<u>22</u> 0,005	<u>26</u> 0,004	<u>25</u> 0,003	<u>23</u> 0,002

- Примечания:* 1. Значения характеристик даны для условий полного заполнения пор водой.
 2. В числителе – угол внутреннего трения в градусах, в знаменателе – сцепление в МПа.
 3. При $\Sigma N_p > A \cdot 10^6$ расчётные значения φ и c следует принимать по столбцу «10⁶».

2.6.4 Модули упругости для слоёв из щебня

Модули упругости для слоёв основания из щебня приведены в табл. 2.6.9.

Таблица 2.6.9

Модули упругости щебня (СП 34.13330.2012, табл. 8.13)

Материал	Марка по прочности на сжатие не менее, МПа, для дорог	
	I–III категорий	IV–V категорий
Щебень из изверженных и метаморфических пород	800	800
Щебень из осадочных пород	600	400
Щебень из шлаков черной и цветной металлургии, фосфорных	600	400
Щебень из гравия	600	400

2.6.5 Конструктивные слои из чёрного щебня

Модули упругости для слоёв основания из щебня приведены в табл. 2.6.10.

Таблица 2.6.10

Модули упругости для чёрного щебня (ОДН 218.046-01, табл. П.3.5)

№ п/п	Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	Чёрный щебень, уложенный по способу заклинки	600-900
2	Слой из щебня, устроенного по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией	400-600

Примечание. Большие значения – для покрытий, меньшие – для оснований.

2.6.6 Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами

Модули упругости для конструктивных слоёв из смесей щебеночно гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами приведены в табл. 2.6.11.

2.6.7 Модули упругости асфальтобетонных слоев

При проверке прочности дорожных одежд на упругий прогиб значения модулей упругости принимают при температуре $t = +10^\circ\text{C}$. При проверке на сдвигустойчивость их задают соответствующими максимально возможным температурам в ранний весенний период. Эти температуры назначают по табл. 2.6.12 в зависимости от дорожно-климатической зоны.

Таблица 2.6.12

Расчётные значения температуры (ОДН 218.046-01, табл. 3.5)

Дорожно-климатические зоны	I–II	III	IV	V
Расчетная температура, $^\circ\text{C}$	+20	+30	+40	+50

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов для расчётов конструкции по допускаемому упругому прогибу и по сдвигустойчивости приведены в табл. 2.6.13. При этом необходимо выполнить требования примечания 1.

Таблица 2.6.11

Модули упругости для слоёв из смесей щебеночно-гравийно-песчаных
и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами
(ОДН 218.046-01, табл. П.3.6)

№ п.п.	Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси, крупнообломочные грунты (оптимальные/неоптимальные), обработанные цементом: - соответствующие марке: 20 40 60	 500/400 600/550 800/700
	75 100	870/830 1000/950
2	То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим: - соответствующие марке: 20 40 60 75 100	 450/350 550/500 750/650 870/780 950/910
3	Пески гравелистые, крупные, средние/пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и тяжелая, суглинки легкие, обработанные цементом: - соответствующие марке: 20 40 60 75 100	 400/250 550/400 700/550 870/750 950/870
4	То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим: соответствующие марке: 20 40 60 75 100	 300/200 450/300 600/450 730/600 870/750

Примечание. В числителе – для слоя из легкоуплотняемой смеси, в знаменателе – из трудноуплотняемой смеси.

Таблица 2.6.13

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов (при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости)(ОДН 218.046-01, табл. П.3.2)

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости E , МПа, при температуре покрытия, °С				
		+10	+20	+30	+40	+50 (60)
Плотный асфальтобетон и высокоплотный асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60; 60/90; 90/130 130/200; 200/300	4400; 3200; 2400 1500; 1200	2600; 1800; 1200 800; 600	1550; 1100; 550 670; 500	850; 650; 550 460; 420	520; 460; 420 380; 360
	Жидкого: БГ-70/130; СГ-130/200 СГ-70/130; МГ-70/130	1000; 1000 800; 800	420; 420 360; 360	400; 400 350; 350	350; 350 350; 350	350; 350 350; 350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60; 60/90; 90/130 130/200; 200/300	2800; 2000; 1400 1100; 950	1700; 1200; 800 600; 450	900; 700; 510 400; 350	540; 460; 380 340; 330	390; 360; 350 340; 330
Плотный дегтебетон	-	3800	1500	800	500	350
Пористый дегтебетон	-	2000	300	400	350	300
Асфальтобетоны холодные	-	1300	-	-	-	-
Бх	-	1100	-	-	-	-
Вх	-	900	-	-	-	-
Гх	-	750	-	-	-	-
Дх	-					

Примечания:

1. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре от 30 до 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей следует увеличить на 10 %, а для крупнозернистых смесей – на 20 %.

2. При расчёте на упругий прогиб принимать при $t^{\circ} = +10^{\circ}$.

Характеристики асфальтобетонов при расчёте на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками приведены в табл. 2.6.14.

Таблица 2.6.14

Характеристики асфальтобетонов при расчёте на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками (ОДН 218.046-01, табл. П.3.1)

Асфальтобетон	Расчётные значения модуля упругости E , МПа	m	α	Нормативные значения сопротивления растяжению при изгибе R_0 , МПа
Высокоплотный на БНД марки:				
40/60	8600	6,0	5,0/5,6*	10,00
60/90	6000	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	4600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	3500	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2500	4,3	5,9/7,1	9,00
Плотный на БНД марки:				
40/60	6000	6,0	5,0/5,6	10,00
60/90	4500	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	3600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	2600	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2000	4,3	5,9/7,1	9,00
Пористый на БНД марки:				
40/60	3600	4,5	5,8/6,8	8,30
60/90	2800	4,3	5,9/7,1	8,00
90/130	2200	4,0	6,3/7,6	7,80
130/200	1800	3,75	6,6/8,2	7,60
200/300	1400	3,7	6,7/8,2	7,10
Высокопористый на БНД марки:				
40/60	3000	4,3	5,9/7,1	5,50/6,50**
60/90	2100	4,0	6,3/7,6	5,65/6,20
90/130	1700	3,8	6,5/7,9	5,50/-
Холодные асфальтобетоны:				
Бх	2600	3,0	8,0/10,3	4,90
Вх	2200	2,5	9,8/13,4	4,60
Гх	1800	2,0	13,2/19,5	4,20
Дх	1500	2,0	13,2/19,5	3,90

Примечание.

*в числителе – для II дорожно-климатической зоны, в знаменателе – для III-V дорожно-климатических зон.

**для песчаного асфальтобетона.

2.6.8 Теплофизические характеристики материалов конструктивных слоёв

Теплофизические характеристики материалов конструктивных слоёв, необходимые для расчёта дорожных одежд на сдвиг в слабосвязных слоях, приведены в табл. 2.6.15. Более полный список приведён в ОДН 218.046, табл. П.5.1.

Таблица 2.6.15

Теплофизические характеристики дорожно-строительных материалов

№ п/п	Материал, грунт	Плотность ρ , кг/м ³	Удельный вес, γ , кг/см ³
1	Асфальтобетон горячий плотный	2400	0,0024
2	То же, пористый	2300	0,0023
3	То же, высокопористый, в том числе битумопесчаная смесь (ТУ 218 РСФСР)	2200-1900	0,0022-0,0019
4	Гравий (щебень) с лёгкими заполнителями, обработанные вязким битумом	2000	0,002
5	Супесь, укрепленная 10 %-ной эмульсией	1700-1900	0,0017-0,0019
7	Песок разномерный, укрепленный 10 % 6-10 % цемента	2100	0,0021
8	Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10 % цемента	2100	0,0021
9	Суглинок, укрепленный 6-12 % цемента	1750-1900	0,00175-0,0019
10	Супесь, укрепленная 8-10 % цемента	1700-1900	0,0017-0,0019
11	Щебень из гранита	1800	0,0018
12	Щебень из известняка	1600	0,0016
13	Гравий	1800	0,0018
14	Песок крупный	2000	0,002
15	Песок средней крупности	1950	0,00195
16	Песок мелкий	1850	0,00185
17	Песок пылеватый	1750	0,00175
18	Супесь	2100	0,0021
19	Суглинок и глина	2000	0,002
20	Лёссы	1500	0,0015
21	Гравийно-песчаная смесь	2000	0,002
22	Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10 % цемента	2000	0,002

Например**Характеристики материалов для капитальной дорожной одежды**

Требуется запроектировать дорожную одежду капитального типа при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края, относящейся к равнинным районам;
- категория автомобильной дороги – I;
- Коэффициент надёжности – 0,95;
- число приложений нормативной нагрузки $\Sigma N_p = 12256700$ груз. ед;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая относится к сильнопучинистым грунтам;
- коэффициент уплотнения – 1,01;
- обочины укреплены щебнем на 2/3 своей ширины;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 1;
- грунтовые воды залегают глубоко (более 4 м).

Предварительная конструкция дорожной одежды приведена в табл. 6.1.

Определим характеристики подстилающего слоя – верхнего слоя земляного полотна. Предварительная толщина конструкции дорожной одежды составляет 1,13 м, поэтому расчётную влажность грунта земляного полотна принимаем по фo муле (6.1). Среднее многолетнее значение относительной влажности $W_{таб}$, определяем по табл. 6.3.

Для II-й климатической зоны, I-й подзоны и I-й схемы увлажнения супесь пылеватая имеет влажность $W_{таб}=7,0$. Так как район проектирования относится к равнинным, то согласно табл. 6.4 поправка на особенности рельефа территории $\Delta_1=0,0$.

С учётом того, что обочины на 2/3 укреплены щебнем, для II дорожно-климатической зоны и I-й схемы увлажнения $\Delta_2=0,02$ (табл. 6.5). Поправка $\Delta_3=0$, так как исходная относительная влажность 0,7 (рис. 6.2). Коэффициент нормированного отклонения $t=1,71$ при $K_n=0,95$ (табл. 6.6).

$$W_p = (\bar{W}_{таб} + \Delta_1 - \Delta_2)(1 + 0,1t) - \Delta_3 = (0,7 + 0 - 0,02)(1 + 0,1 \cdot 1,71) - 0 = 0,8.$$

При таком значении влажности согласно табл. 6.2 модуль упругости $E_n=32$ МПа.

Для $W_p=0,8$ и числе приложений кратковременной нагрузки $\Sigma N_p=12256700$ груз. ед., угол внутреннего трения $\varphi = 12^\circ$ и сцепление $c_N = 0,003$ МПа (табл. 6.7).

При статическом воздействии ($\Sigma N_p=1$) угол внутреннего трения $\varphi_{ст} = 34^\circ$. Модуль упругости песка крупного принимаем по табл. 6.2. ($E=130$ МПа).

При числе приложений кратковременной нагрузки $\Sigma N_p=12256700$ груз. ед., угол внутреннего трения $\varphi = 28^\circ$ и сцепление $c_N = 0,003$ МПа (табл. 6.8).

При статическом воздействии ($\Sigma N_p=1$) угол внутреннего трения $\varphi_{ст} = 34^\circ$.

Модуль упругости для щебёночно-гравийно-грунтовой смеси принимаем по табл. 6.11. Модуль упругости для чёрного щебня принимаем по табл. 6.10.

Так как чёрный щебень уложен в основании, то принимаем меньшее число – 600 МПа

Модули упругости для асфальтобетонных слоёв.

При расчёте на упругий прогиб принимаем модуль упругости для битума БНД 90/130 при $t=+10^\circ\text{C}$ по табл. 6.13. Он составит 2400 МПа для плотного асфальтобетона и 1400 для пористого асфальтобетона.

При расчёте по условию сдвига в слабосвязных слоях принимаем модуль упругости для битума БНД 90/130 при $t=+20^\circ\text{C}$ по табл. 26.13. Он составит 1200 МПа для плотного асфальтобетона и 800 для пористого асфальтобетона.

При расчёте на изгиб монолитных слоёв принимаем данные из табл. 2.6.14. Данные внесены в табл. 2.6.1.

2.7. Оценка прочности дорожных одежд по допустимому упругому прогибу

Конструкция дорожной одежды в целом будет удовлетворять требованиям прочности и надёжности по величине упругого прогиба при условии:

$$\frac{E_{общ}}{E_{тр, min}} \geq K_{пр}^{тр}, \quad (7.1)$$

где $E_{общ}$ – общий расчётный модуль упругости конструкции, МПа; $E_{тр, min}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа; $K_{пр}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надёжности (по табл. 5.1).

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции назначают по правилу, МПа

$$E_{тр, min} = \max(E_{табл}; E_{min}), \quad (7.2)$$

где E_{min} вычисляют по эмпирической формуле, а $E_{табл}$ назначают по табл. 7.1.

При расчётах дорожных одежд капитального типа, для которых $p=0,8$ МПа, в соответствии с письмом (см. Приложение) следует использовать эмпирическую формулу

$$E_{min} = \sqrt{\frac{p}{600}} \cdot 98,65 \cdot (\lg(\Sigma N_p) - c) = \sqrt{\frac{800}{600}} \cdot 98,65 \cdot (\lg(\Sigma N_p) - c). \quad (7.3)$$

где c – эмпирический параметр, принимаемый по табл. 7.2. Для остальных дорожных одежд, рассчитываемых на удельную нагрузку $p = 0,6$ МПа, в соответствии ОДН 218.046-01 следует пользоваться формулой

$$E_{\min} = 98,65 \left(\lg \left(\sum N_p \right) - c \right) \quad (7.4)$$

В том случае, когда суммарное расчётное число приложений нагрузки за срок службы

дорожной одежды $\sum N_p < 4 \cdot 10^4$, минимальный требуемый модуль упругости следует принимать по табл. 2.7.1. Независимо от результата, полученного по формулам (7.3) и (7.4), требуемый модуль упругости должен быть не менее $E_{\text{табл}}$, указанного в табл. 2.7.1.

Общий расчётный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды (рис. 7.1).

Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведут послойно, начиная с подстилающего грунта

Таблица 2.7.1

Минимальный требуемый модуль упругости (ОДН 218.046-01, табл. 3.4)

Категория дороги	Суммарное минимальное расчётное число приложений расчётной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, $E_{\text{табл}}$, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	-	-
II	500000	220	210	-
III	375000	200	200	-
IV	110000	-	150	100
V	40000	-	100	50

Таблица 2.7.2

Значения эмпирического параметра c

Нормативная нагрузка на ось, кН	c	Источник
100	3,55	ОДН 218.046-01, п. 3.25
110	3,25	ОДН 218.046-01, п. 3.25
115	3,15	По интерполяции квадратическим полиномом Лагранжа
130	3,05	ОДН 218.046-01, п. 3.25

Расчёт по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю деформации) приведён ниже. Его ведут в следующей последовательности:

1. Определяют минимальный общий модуль конструкции $E_{\min}$ по формуле (7.3) или (7.4).

2. Назначают требуемый минимальный общий модуль конструкции $E_{\text{тр},\min}$ по условию (7.2).

3. Составляют таблицу с исходными данными для расчёта, пример которой приведён в табл. 2.7.3.

4. Назначают модули и предварительно толщины слоёв конструкции.

5. Определяют требуемые модули упругости на поверхности каждого конструктивного слоя дорожной одежды, ведя расчёт конструкции сверху вниз, последовательно применяя номограмму, приведённую на рис. 7.1.

В итоге, должен быть определён требуемый модуль упругости на поверхности дополнительного слоя основания.

Пример 2.7.1. Расчёт капитальных дорожных одежд по упругому прогибу

Требуется запроектировать на дороге I категории с заданной надёжностью $K_n = 0,95$ дорожную одежду капитального типа при суммарном количестве приложений расчётной нагрузки за срок службы,

$$\sum N_p = 1225700 \text{ груз.ед.}$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчёта по допускаемому упругому прогибу, согласно табл. 2.5.1, составляет $K_{пр}^{тр} = 1,3$

1. Предварительно назначаем конструкцию и расчётные значения расчётных параметров (см. гл. 6). Они приведены в табл. 2.7.3.

Таблица 2.7.3

Исходные данные для материалов слоёв дорожной одежды

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвигу, E, МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2.	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3.	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4.	Щебёчно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5.	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\phi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\phi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8 W_L$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\phi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\phi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

2. Так как мы проектируем дорожные одежды капитального типа, то минимальный требуемый модуль упругости на поверхности покрытия определим по формуле (7.3):

$$E_{\min} = 113,94(\lg(\sum N_p) - 3,15) = 113,94(\lg 1225700 - 3,15) = 335 \text{ МПа.}$$

Это значение больше табличного (см. табл. 2.7.1), следовательно, в соответствии с условием (7.2) $E_{тр, \min} = 335$ МПа.

3. Расчёт по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме (рис. 7.1).

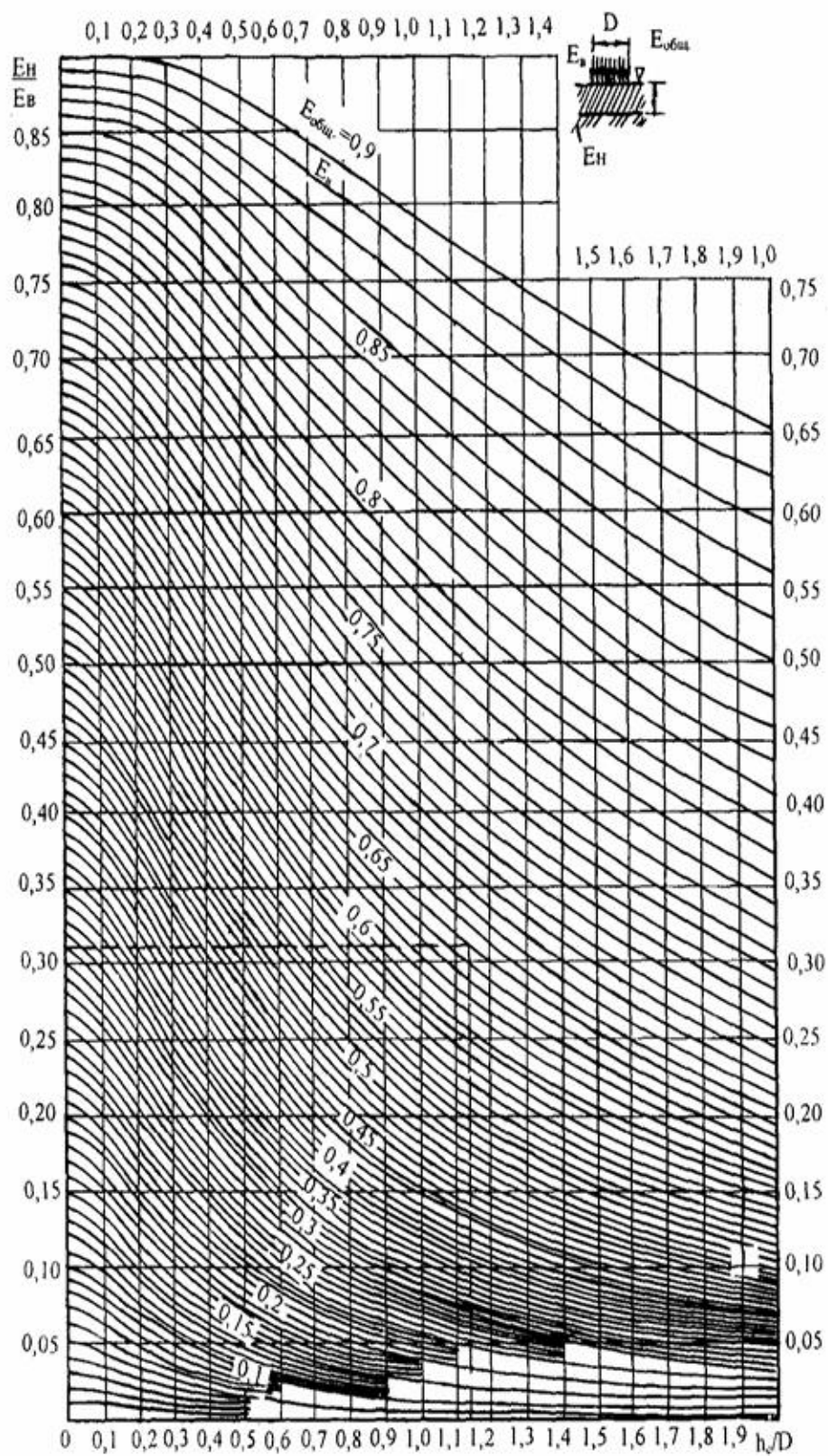


Рис. 7.1 (ОДН 218.046-01, рис. 3.1) – Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{общ}$

$$3.1. \frac{E_n}{E_b} = \frac{E_{гр}}{E_{песок}} = \frac{32}{130} = 0,25.$$

Диаметр следа колеса $D = 39$ см. Тогда $\frac{h_a}{D} = \frac{h_{песок}}{D} = \frac{50}{39} = 1,28$.

По номограмме $\frac{E_{общ}^{песок}}{E_n^{песок}} = 0,61$. Тогда $E_{общ}^{песок} = 0,61 \cdot 130 = 79,3$ МПа.

$$3.2. \frac{E_n}{E_b} = \frac{E_{общ}^{песок}}{E_{шгпс}} = \frac{79,3}{400} = 0,20. \text{ Отношение } \frac{h_{шгпс}}{D} = \frac{28}{39} = 0,72.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{шгпс}}{E_n^{шгпс}} = 0,44$. Тогда $E_{общ}^{шгпс} = 0,44 \cdot 400 = 176$ МПа.

$$3.3. \frac{E_n}{E_b} = \frac{E_{общ}^{шгпс}}{E^{чщ}} = \frac{176}{600} = 0,29. \text{ Отношение } \frac{h^{чщ}}{D} = \frac{18}{39} = 0,46.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{чщ}}{E_n^{чщ}} = 0,46$. Тогда $E_{общ}^{чщ} = 0,46 \cdot 600 = 276$ МПа.

$$3.4. \frac{E_n}{E_b} = \frac{E_{общ}^{чщ}}{E^{a/b_2}} = \frac{276}{1400} = 0,20. \text{ Отношение } \frac{h^{a/b_2}}{D} = \frac{10}{39} = 0,26.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{a/b_2}}{E_n^{a/b_2}} = 0,26$. Тогда $E_{общ}^{a/b_2} = 0,26 \cdot 1400 = 364$ МПа.

$$3.5. \frac{E_n}{E_b} = \frac{E_{общ}^{a/b_2}}{E^{a/b_1}} = \frac{364}{2400} = 0,15. \text{ Отношение } \frac{h^{a/b_1}}{D} = \frac{7}{39} = 0,18.$$

По номограмме $\frac{E_{общ}^{a/b_1}}{E_n^{a/b_1}} = 0,19$. Тогда $E_{общ}^{a/b_1} = 0,19 \cdot 2400 = 456$ МПа.

3.6. Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу.

$$\frac{E_{общ}^{a/b_1}}{E_{тр \min}} = \frac{456}{335} = 1,36. \text{ Полученное значение превышает } 1,3.$$

Таким образом, рассматриваемая конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию прочности по критерию упругого прогиба.

2.8. Расчёт по условию сдвигоустойчивости слоёв с пониженной сопротивляемостью сдвигу

К слоям дорожной конструкции с пониженной сопротивляемостью сдвигу относятся малосвязные (песчаные, гравийные) слои дорожной одежды и подстилающий грунт земляного полотна. Необходимо, чтобы под действием нагрузок в этих слоях за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации.

Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных слоях будет обеспечено условие (5.2):

$$K_{пр} \geq K_{пр}^{тр}$$

Где: коэффициент прочности равен:

$$K_{пр} = \frac{T_{доп}}{T}$$

T – расчётное (максимальное) активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенная внутренним трением) в расчётной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки; $T_{\text{доп}}$ – допускаемая (предельная) величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг.

$$\text{Тогда } \frac{T_{\text{доп}}}{T} > K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \quad (8.1)$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ (8.1) назначают по табл. 5.1 (ОДН 218.046-01, табл. 3.1), в зависимости от типа дорожной одежды, категории дороги, заданной надёжности и вида расчёта (по критерию сдвига и растяжения при изгибе). Напряжения в конструктивных слоях и в подстилающем грунте от воздействия транспортной нагрузки вычисляют по формулам теории упругости для слоистой среды, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой через гибкий круглый штамп, с учётом условий на контакте слоёв.

Действующие в слое активные напряжения сдвига T вычисляют по формуле

$$T = \bar{\tau}_n \cdot p \quad (8.2.)$$

где τ_n и p (8.2) – активное напряжение сдвига от единичной временной нагрузки, определяемое с помощью номограммы, представленной на рис. 8.1 или 8.2; p – расчётное давление от колеса на покрытие (0,8 МПа для капитальных дорожных одежд и 0,6 МПа для всех остальных типов).

Предельное (допускаемое) активное напряжение сдвига $T_{\text{доп}}$ в грунте рабочего слоя (или в песчаном материале промежуточного слоя) определяют по формуле

$$T_{\text{доп}} = c_N \cdot k_d + 0,1 \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{ст}}, \quad (8.3)$$

где c_N – сцепление в грунте проверяемого слоя при числе приложении кратковременной нагрузки ΣN_p , МПа; k_d – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания; $z_{\text{оп}}$ – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигустойчивость, от верха конструкции, см; $\gamma_{\text{ср}}$ – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см³; $\varphi_{\text{ст}}$ – расчётная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки; 0,1 – коэффициент для перевода в МПа.

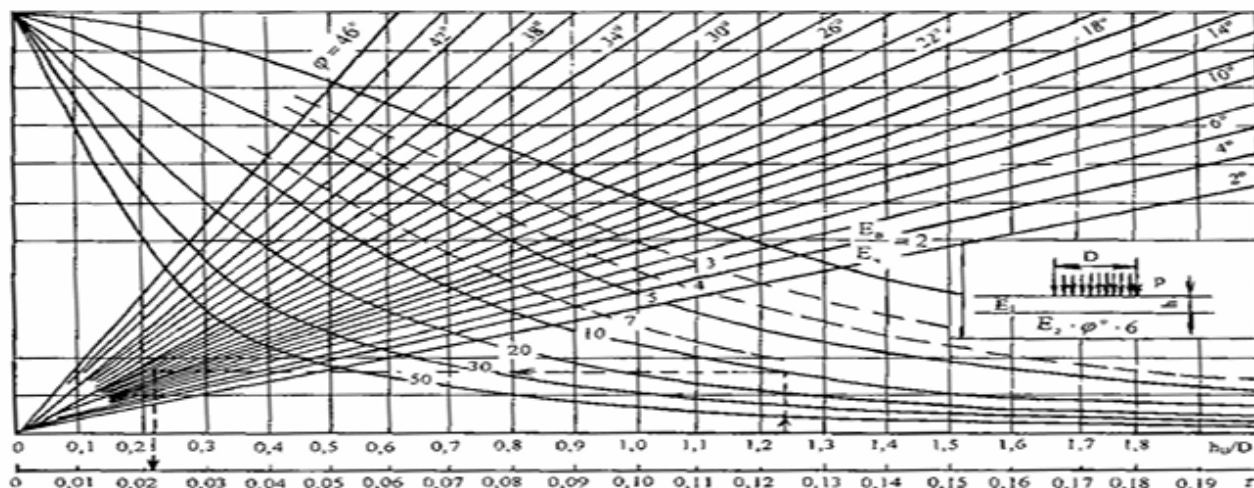


Рис. 8.1 – Номограмма для определения τ_n (ОДН 218.046-01, рис. 3.2)

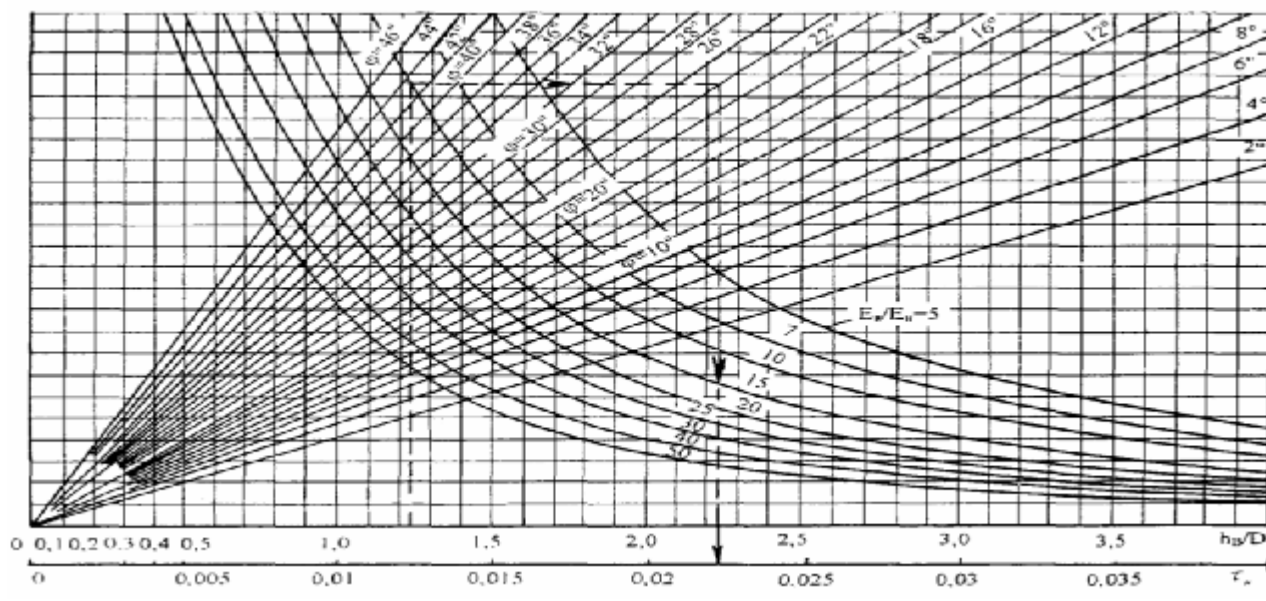


Рис.8.2 . Номограмма на большем диапазоне (ОДН 218.046-01, рис. 3.3)

Если дополнительный слой основания устраивается песчаным, а нижний слой несущего основания из укрепленных материалов или между основанием и песчаным слоем укладывают геотекстильную прослойку, то коэффициент k_d , должен принимать значения в соответствии с табл. 2.8.1.

Таблица 2.8.1

Значения коэффициента k_d (ОДН 218.046-01, п.3.35)

k_d	Особенности грунта дополнительного слоя основания
4,5	при использовании в песчаном слое крупного песка
4,0	при использовании в песчаном слое песка средней крупности
3,0	при использовании в песчаном слое мелкого песка
1,0	во всех остальных случаях

Для того, чтобы воспользоваться номограммой (рис. 8.1 или 8.2), необходимо предварительно назначенную дорожную конструкцию привести к двухслойной расчётной модели. В ней, при расчёте на сдвиг в подстилающем слое, 1-й слой – это вся конструкция дорожной одежды, 2-й слой – подстилающий грунт.

Тогда толщину верхнего слоя h_b принимают равной сумме толщин всех слоёв одежды:

$$h_b = \sum_{i=1}^n h_i \quad (8.4)$$

где n – число слоёв дорожной одежды; h_i – толщина i -го слоя. Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют, как средневзвешенный, по формуле

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (8.5)$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя дорожной одежды. Средневзвешенный удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше проверяемого слоя, оценивается по формуле

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (8.6)$$

где γ_i – удельный вес i -го слоя конструкции. При расчёте по условию сдвигу устойчивости в дополнительном слое основания нижнему слою двухслойной модели условно присваивают обычные характеристики материала дополнительного слоя основания, а модуль упругости принимают равным общему модулю на поверхности дополнительного слоя, определяемому как в расчётах по упругому прогибу по номограмме (рис. 7.1). Толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоёв, лежащих над дополнительным

$$h_b = \sum_{i=1}^{n-1} h_i \quad (8.7)$$

модуль упругости E_b вычисляют как средневзвешенное значение для этих слоёв

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i}, \quad (8.8)$$

удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше проверяемого слоя

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i}$$

Расчёт дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна, а также в слабосвязных материалах промежуточных слоёв дорожных одежд, ведут в следующей последовательности:

1. Приводят многослойную конструкцию к двухслойной модели.
2. По номограмме (рис. 8.1) или (рис. 8.2) определяют активные напряжения сдвига n от единичной временной нагрузки.
3. По формуле (8.2) вычисляют расчётное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в песчаном слое одежды.
4. По формуле (8.3) вычисляют предельное напряжение сдвига.
5. По критерию (8.1) проверяют выполнение условия прочности (по заданному коэффициенту надёжности).
6. При невыполнении критерия изменяют толщины конструктивных слоёв, подбирают конструкцию, удовлетворяющую условию

Пример 2.8.1

Расчёт капитальных дорожных одежд по условию сдвига в подстилающем слое Необходимо рассчитать конструкцию дорожной одежды, представленную в табл. 8.2 (табл. 6.1) на прочность по условию сдвига в подстилающем слое. В примере 7.1 она была рассчитана на прочность по критерию упругого прогиба. Коэффициент надёжности $K_n=0,95$. Требуемый

минимальный коэффициент прочности для расчёта по условию сдвига, согласно табл. 5.1, составляет $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,0$. Приводим нашу конструкцию к двухслойной модели. Толщина верхнего слоя

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^5 h_i = 0,07 + 0,10 + 0,18 + 0,28 + 0,50 = 1,13 \text{ м}.$$

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (8.5),

$$E_{\text{в}} = \frac{1200 \cdot 7 + 800 \cdot 10 + 600 \cdot 18 + 400 \cdot 28 + 130 \cdot 50}{113} = 397 \text{ МПа}.$$

Таблица 2.8.2 (табл.2.6.1)

Исходные данные для слоёв дорожной одежды

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвига- уст., E, МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8 W_t$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

По отношениям $\frac{E_b}{E_n} = \frac{397}{32} = 12,4$; $\frac{h_b}{D} = \frac{113}{39} = 2,9$ и при $\varphi = 12^\circ$ с помощью номограммы (рис. 8.2) находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\bar{\tau}_n = 0,008$ МПа.

Таким образом, $T = 0,008 \cdot 0,8 = 0,0064$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (8.3), где $c_N = 0,003$ МПа, $k_d = 1,0$; $z_{оп} = 7+10+18+28+50=113$ см; $\varphi_{ст} = 34^\circ$;

$$\gamma_{cp} = \frac{0,0024 \cdot 7 + 0,0023 \cdot 9 + 0,002 \cdot 18 + 0,002 \cdot 28 + 0,002 \cdot 50}{113} = 0,002 \text{ кг/см}^3.$$

$$T_{доп} = 0,003 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 113 \cdot \text{tg } 34^\circ = 0,018 \text{ МПа.}$$

$$K_{пр} = \frac{T_{доп}}{T} = \frac{0,018}{0,0064} = 2,81, \text{ что больше } K_{пр}^{тр} = 1,00.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в подстилающем слое.

Пример 2.8.2

Расчёт капитальных дорожных одежд по условию сдвига в дополнительном песчаном слое

Рассчитаем эту же конструкцию дорожной одежды (табл. 8.2) на прочность по условию сдвига в песчаном слое. Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по условию сдвига, остаётся тем же, то есть $K_{пр}^{тр} = 1,0$.

Приводим нашу конструкцию к двухслойной модели. Толщина верхнего слоя

$$h_b = \sum_{i=1}^4 h_i = 0,07 + 0,10 + 0,18 + 0,28 = 0,63 \text{ м.}$$

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (8.8),

$$E_b = \frac{1200 \cdot 7 + 800 \cdot 10 + 600 \cdot 18 + 400 \cdot 28}{63} = 610 \text{ МПа.}$$

Нижним слоем двухслойной модели является совокупность песчаного слоя и грунта земляного полотна. На границе между модельными верхним и нижним слоями (на поверхности песчаного слоя) требуемый модуль упругости согласно расчётам по упругому прогибу (пример 7.1)

$$E_{общ}^{песок} = 79,3 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$\frac{E_b}{E_n} = \frac{610}{79} = 7,72; \quad \frac{h_b}{D} = \frac{63}{39} = 1,61 \text{ и при } \varphi = 28^\circ$$

С помощью рис. 8.2 находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки

$$\bar{\tau}_n = 0,015 \text{ МПа.}$$

Таким образом:

$$T = 0,015 \cdot 0,8 = 0,012 \text{ МПа.}$$

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (8.3), где: $c_N = 0,003$ МПа; $k_d = 4,5$ (см. табл.2. 8.1);

$$z_{\text{оп}} = 7 + 10 + 18 + 28 = 63 \text{ см}; \varphi_{\text{ст}} = 34^\circ.$$

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{0,0024 \cdot 7 + 0,0023 \cdot 10 + 0,002 \cdot 18 + 0,002 \cdot 28}{63} = 0,$$

$$T_{\text{доп}} = 0,003 \cdot 4,5 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 63 \cdot \text{tg } 34^\circ = 0,022 \text{ МПа}.$$

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{доп}}}{T} = \frac{0,022}{0,012} = 1,83, \text{ что больше } K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,00.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в песчаном слое.

2.9. Расчёт на растяжение при изгибе в монолитных слоях

Асфальтобетонные слои конструкции проверяют на прочность при изгибе по критерию

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \quad (9.1)$$

где коэффициент прочности

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{н}}}{\sigma_r} \quad (9.2)$$

$R_{\text{н}}$ — предельно допустимое растягивающее напряжение для материала монолитного слоя (показатель прочности материала слоя на растяжение при изгибе с учётом усталостных явлений), σ_r — наибольшее растягивающее напряжение в монолитном слое, устанавливаемое расчётом.

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ назначают по табл. 5.1. Он такой же, как и при расчётах на сдвиг в слабосвязных грунтах.

Данный критерий применяется для расчета дорожных одежд, содержащих монолитные слои. К ним относятся слои из асфальтобетона, дёгтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими.

При расчётах на изгиб в монолитных слоях систему, включающую в себя дорожные одежды и подстилающий слой, приводят к двухслойной модели.

К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый.

Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев. Она включает в себя и грунт рабочего слоя земляного полотна.

Задают толщину верхнего слоя модели $h_{\text{в}}$, равную сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n h_i \quad (9.3)$$

где n — количество асфальтобетонных слоев, h_i — толщина i -го асфальтобетонного слоя, см. Вычисляют значение модуля упругости верхнего слоя модели, как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев, по формуле

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{h_{\text{в}}} \quad (9.4)$$

где E_i — модуль упругости i -го слоя, МПа. Модуль упругости нижнего слоя модели определяют путём приведения слоистой системы к эквивалентной по жёсткости с помощью номограммы на рис. 7.1. Здесь требуется определить $E_{\text{общ}}$ на нижней границе асфальтобетонного пакета. Расчет ведут послойно, начиная с подстилающего грунта. Далее, вычисляют расчётное растягивающее напряжение по формуле

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot k_b \quad (9.5)$$

Где $\bar{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки; p – расчётное давление; k_b – коэффициент, учитывающий особенности напряжённого состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном.

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки $\bar{\sigma}_r$ определяют по номограмме на рис. 9.1, для соответствующих значений отношения h_b / D

Где D – диаметр следа колеса.

Порядок использования показан на номограмме стрелками.

Расчётное давление p принимают равным 0,8 МПа для капитальных дорожных одежд и 0,6 МПа – для облегченных. Коэффициент $k_b = 0,85$ (при расчёте на одnobаллонное колесо $k_b = 1,00$). Находят прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе по формуле

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t), \quad (9.6)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчётной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки; k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки; k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодных-климатических факторов; v_R – коэффициент вариации прочности на растяжение; t – коэффициент нормативного отклонения.

В пакете асфальтобетонных слоёв за предельное растягивающее напряжение R_N принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета. Коэффициент k_1 , отражающий влияние на прочность усталостных процессов, вычисляют по выражению:

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \quad (9.7)$$

где $\sum N_p$ – расчётное суммарное число приложений расчётной нагрузки за срок службы монолитного покрытия; m – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя; α – коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчётной (низкой) температуры покрытия и расчётного состояния грунта рабочего слоя по влажности.

Коэффициент k_2 принимают по табл. 2.9.1.

Таблица 2.9.1

Значения коэффициента k_2 (ОДН 218.046-01, табл. 3.6)

Материал расчетного слоя			k_2
Асфальтобетон	Высокоплотный		1,0
	Плотный	I марки	0,95
		II марки	0,90
		III марки	0,80
	Пористый и высокопористый		0,80
Органоминеральные смеси			0,80

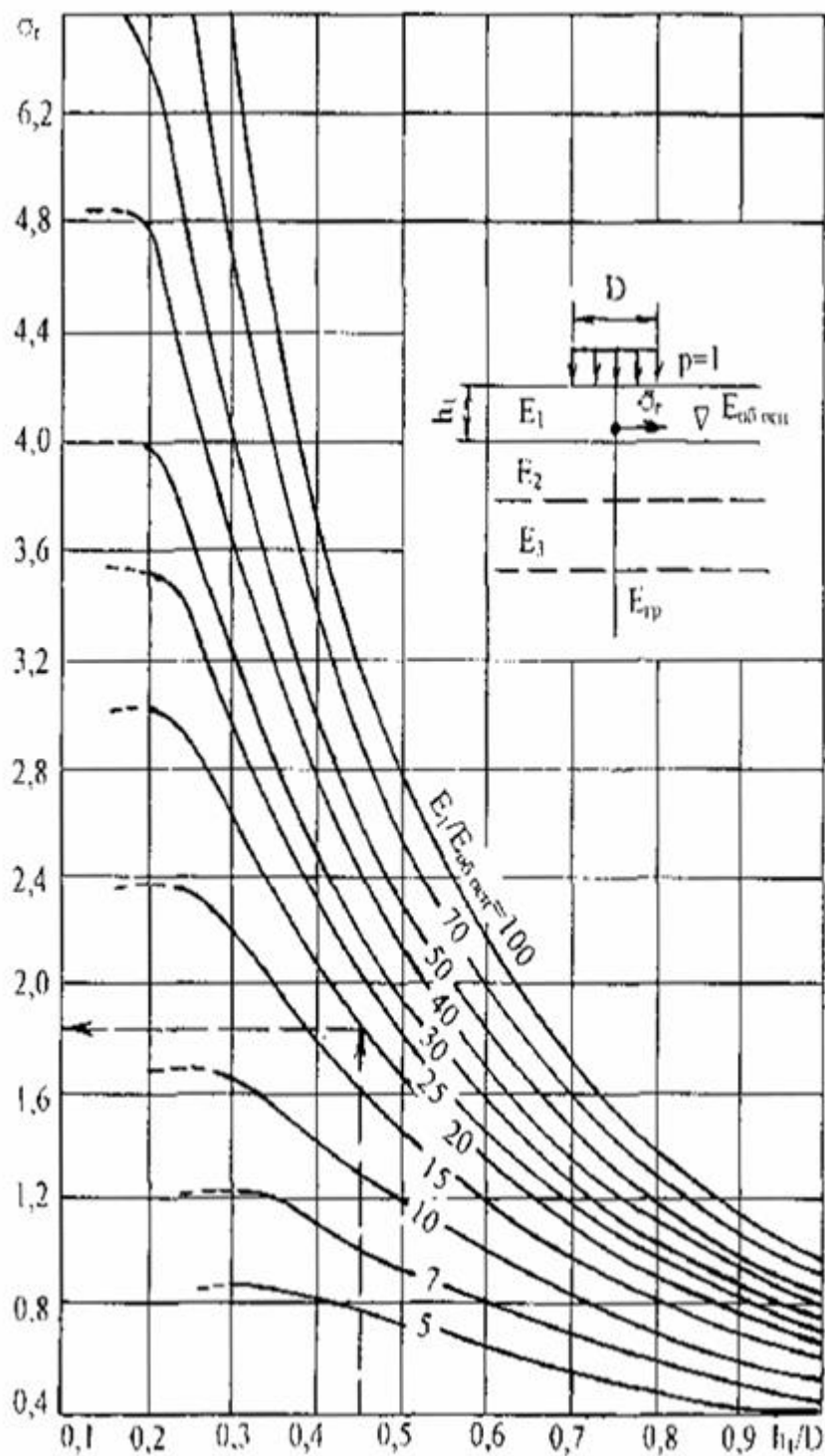


Рис.9.1. Номограмма для определения растягивающих напряжений при изгибе в верхнем монолитном слое двухслойной системы (ОДН 218.046-01, рис. 3.4)

Коэффициент вариации прочности на растяжение согласно ОДН 218.046 01, табл. П.4.1 $v_R = 0,1$.

Для уровня надежности 0,95 коэффициент нормативного отклонения $t=1,71$ (табл. 2.6.6). Вычисляют коэффициент прочности по формуле (9.2) и проверяют критерий надёжности (9.1).

Пример 2.9.1. Рассмотрим алгоритм расчёта на нашем примере (табл. 2.9.1).
Дорога I-й категории; капитальные дорожные одежды; заданная надёжность $K_n = 0,95$.

1. По табл. 5.1 для заданной надёжности принимаем требуемый коэффициент

прочности $K_{пр}^{тр} = 1$

2. Вычисляем по формуле (9.3) толщину пакета асфальтобетонных слоёв верхнего слоя

$$h_b = \sum_{i=1}^2 h_i = 7 + 10 = 17 \text{ см.}$$

системы

3. Находим средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя системы

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{3600 \cdot 7 + 2200 \cdot 10}{17} = 2776 \text{ МПа.}$$

3. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем путём приведения слоистой системы к эквивалентной по жёсткости с помощью номограммы на рис. 7.1. Нам нужно определить $E_{общн}$ на поверхности слоя из чёрного щебня.

Согласно расчётам, выполненным в примере 7.1,

$$E_{общ}^{щ} = 276 \text{ МПа. } E_n = E_{общ}^{щ} = 276 \text{ МПа.}$$

Таблица 2.9.1

Исходные данные к расчёту дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h , см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E , МПа	По усл. сдвиго- уст., E , МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E , МПа	R_0 , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно- песчаная смесь, обрабо- танная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содер- жанием пылевато- глинистой фракции 5%. При динамическом воздей- ствии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздей- ствии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт зем- ляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8 W_L$; При динамическом воздей- ствии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздей- ствии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

5. Определяем растягивающее напряжение от единичной нагрузки $r \sigma$, для чего сначала находим отношения

$$\frac{h_s}{D} = \frac{17}{39} = 0,43 \text{ и } \frac{E_s}{E_n} = \frac{2776}{276} = 10,05$$

По номограмме рис. 9.1 определяем $\bar{\sigma}_r = 1,35$

6. Расчётное давление принимаем равным $p = 0,8$ МПа; коэффициент $k_b = 0,85$. Тогда расчётное растягивающее напряжение:

$$\sigma_r = 1,35 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 0,92 \text{ МПа.}$$

7. Находим коэффициент для нижнего слоя асфальтобетона

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} = \frac{6,3}{\sqrt[4]{1225700}} = \frac{6,3}{33,27} = 0,19.$$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R t) = 7,8 \cdot 0,19 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) = 0,98.$$

Вычисляем

$$\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,98}{0,92} = 1,06$$

что больше, чем $K_{пр}^{тр} = 1,0$.

Таким образом, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности на изгиб в монолитных слоях.

2.10. Расчёт дорожной одежды на морозоустойчивость

Расчёт дорожной одежды на морозоустойчивость (зимнее пучение) проводят для неблагоприятных грунтово-гидрологических условий.

К ним относятся второй и третий типы местности по увлажнению в I–III дорожно-климатических зонах при наличии пылеватых грунтов в верхней части земляного полотна.



Рис. 10.1. Разрыв дорожной одежды в результате пучения грунта земляного полотна

Пучением называют процесс, который происходит при замерзании грунта.

Его характеристикой является степень морозной пучинистости

$$E = \frac{H - h}{h}, \quad (10.1)$$

где H – высота мёрзлого (вспучившегося) грунта, h – высота грунта до замерзания. Степень пучинистости показывает, на какую величину изменяется объём грунта при промерзании.

Пучинистыми называют грунты, у которых *степень пучинистости* больше 0,01, то есть это такой грунт, который при промерзании на глубину 1 м увеличивается в объёме более чем на 1 см.

Классификация грунтов по степени пучинистости приведена в табл. 2.10.1 (СП 34.13330.2012, табл. В.6; ОДН 219.046-01, табл. П.2.6).

В данной классификации выделяют пять групп грунтов.

1) *Непучинистые грунты* – грунты, которые не изменяют свой объём и свойства при промерзании-оттаивании, т.е. грунты у которых *степень пучинистости* $E < 0,01$.

К ним относятся: крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, галька, гравий, щебень, пески (гравелистые, крупные и средней крупности, крупно- и среднезернистые пески), песчаные смеси, не содержащие глинистых фракций, при любом уровне безнапорных подземных вод.

2) *Практически непучинистыми* грунтами могут быть мелкие и пылеватые пески и глинистые грунты твёрдой консистенции при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

3) *К слабопучинистым грунтам* относятся грунты с $0,01 < E < 0,035$.

К ним относятся – мелкие и пылеватые пески или пески средней зернистости с небольшими глинистыми включениями при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

Расчёт выполняют путём определения величины ожидаемого пучения грунта рабочего слоя земляного полотна и сравнения её с допускаемой для данной конструкции величиной.

Таблица 2.10.1

Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании

Группы грунтов	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение, %	Грунт
I	Непучинистый	1 и менее	Песок гравелистый с содержанием частиц мельче 0,05 до 2%
			Песок крупный с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %
			Песок средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %
II	Слабопучинистый	Свыше 1 до 4	Песок гравелистый с содержанием частиц мельче 0,05 до 15%
			Песок крупный с содержанием частиц мельче 0,05 до 15%
			Песок средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %
			Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %
			Супесь лёгкая крупная
III	Пучинистый	Свыше 4 до 7	Супесь лёгкая
			Суглинок лёгкий
			Суглинок тяжёлый
			Глины
IV	Сильнопучинистый	Свыше 7 до 10	Песок пылеватый
			Супесь пылеватая
			Суглинок тяжёлый пылеватый
V	Чрезмернопучинистый	Свыше 10	Супесь тяжёлая пылеватая
			Суглинок лёгкий пылеватый

Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие

$$I_{\text{пуч}} \leq I_{\text{доп}} \quad (10.2)$$

где $I_{\text{пуч}}$ – расчётное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна; $I_{\text{доп}}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта. Допустимое пучение $I_{\text{доп}}$ принимают по табл.2.10.2.

Таблица 2.10.2

Допустимые значения морозного пучения (ОДН 218.046-01, табл. 4.3)

Тип дорожных одежд	Вид покрытия	Допустимая величина морозного пучения, ($I_{\text{доп}}$), см
Капитальные	Асфальтобетонное	4
Облегченные	Асфальтобетонное	6
Переходные	Переходное	10

В восточных районах II - III дорожно-климатических значения $I_{доп}$ следует увеличивать на 20-40 % (большие значения для облегченных и переходных дорожных одежд).

Величину возможного морозного пучения следует определять по формуле:

$$I_{пуч} = I_{пуч\ ср} \cdot K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл}, \quad (10.3)$$

где $I_{пуч\ ср}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях; $K_{УГВ}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (Ну); $K_{пл}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя; $K_{гр}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки; $K_{нагр}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое; $K_{вл}$ – коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта.

Расчёт ведут в следующей последовательности.

1. Находят глубину промерзания $Z_{пр}$ по формуле

$$Z_{пр} = Z_{пр(ср)} \cdot 1,38, \quad (10.4)$$

где $Z_{пр(ср)}$ – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливается при помощи карт изолиний (рис. 10.2).

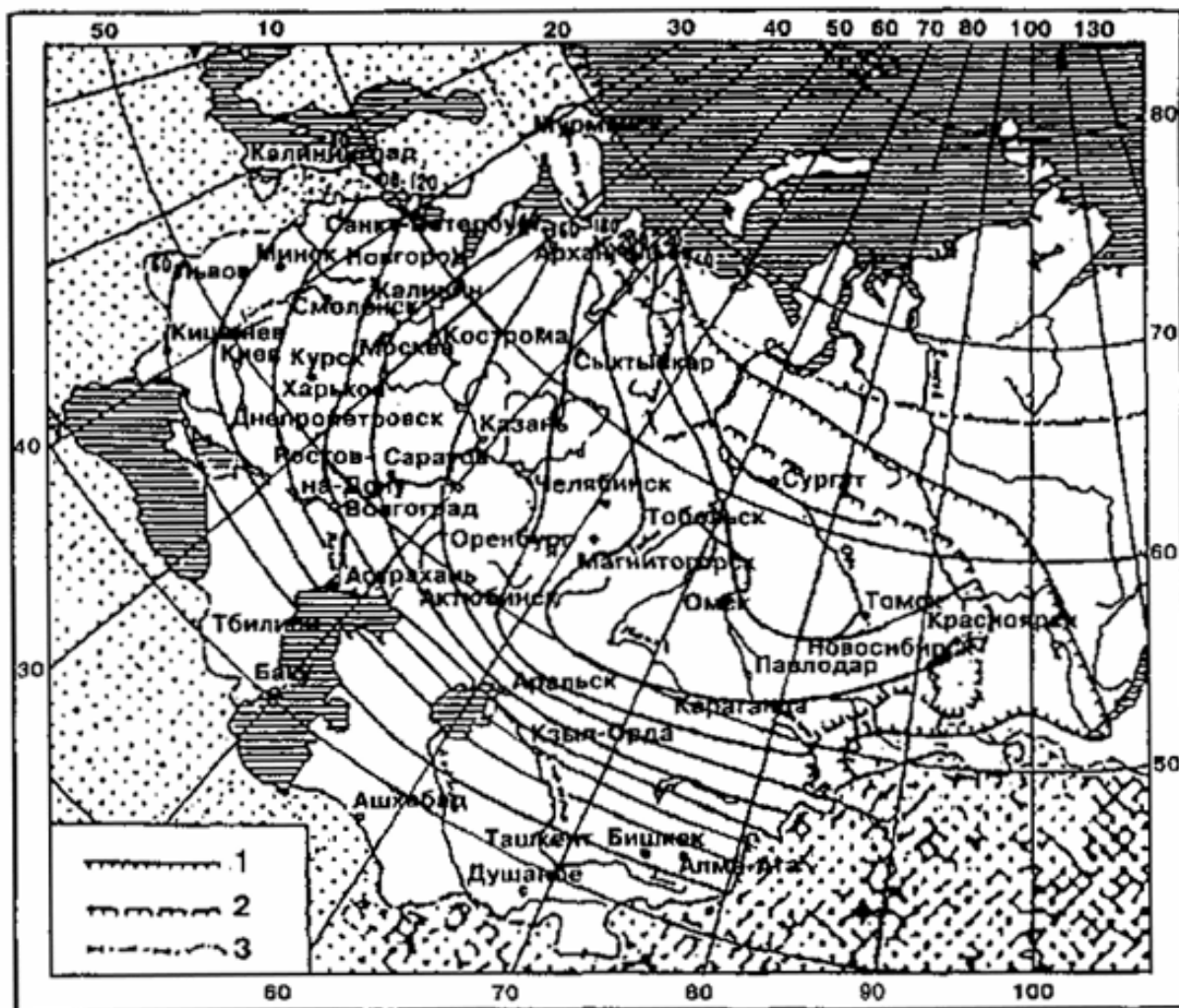


Рис. 10.2. (ОДН 218.046-01, рис. 4.4) – Карта изолиний глубины промерзания $Z_{пр(ср)}$ грунтов на территории СНГ:

- 1 – граница сплошного распространения многолетнемёрзлых грунтов; 2 – то же, островного;
- 3 – границы стран СНГ

Например: Глубина промерзания грунта в Красноярске приведена в табл. 10.3 [9].

Таблица 2.10.3

Средняя глубина промерзания грунта в Красноярске

Грунт	Средняя глубина промерзания, м
Суглинки и глины	1,9
Супеси, пески мелкие и пылеватые	2,31
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	2,47
Крупнообломочные грунты	2,8

2. Вычисляют $l_{пуч\ ср}$. При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$ до 2 м $l_{пуч\ ср}$ устанавливают по графикам рис. 10.3.

При $z_{пр}$ от 2,0 до 3,0 м $l_{пуч\ ср}$ вычисляют по формуле:

$$l_{пуч\ ср} = l_{пуч\ ср\ 2,0} \cdot [a + b (z_{пр} - c)],$$

где $l_{пуч\ ср\ 2,0}$ – величина морозного пучения при $z_{пр} = 2,0$ м;

$a = 1,0$; $b = 0,16$; $c = 2,0$ при $2,0 < z_{пр} < 2,5$;

$a = 1,08$; $b = 0,08$; $c = 2,5$ при $2,5 < z_{пр} < 3,0$.

3. Устанавливают $K_{УГВ}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (H_u), пользуясь графиком на рис. 10.4.

При отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать:

- для супеси тяжелой и пылевой и суглинка $K_{УГВ} = 0,53$;

- для песка и супеси легкой и крупной $K_{УГВ} = 0,43$.

4. Находят $K_{пл}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя. В табл. 10.4 приведены минимальные значения коэффициентов уплотнения, допускаемые для рабочего слоя земляного полотна [1, табл. 7.3]. Значения $K_{пл}$ принимают по табл. 10.5.

Таблица 2.10.4

Наименьшие коэффициенты уплотнения для рабочего слоя

Элементы земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Наименьший коэффициент уплотнения грунта при типе дорожных одежд					
		капитальном			облегченном и переходном		
		в дорожно-климатических зонах					
		I	II, III	IV,V	I	II, III	IV,V
Рабочий слой	До 1,5	0,98-0,96	1,0-0,98	0,98-0,95	0,95-0,93	0,98-0,95	0,95
В рабочем слое выемки ниже глущины сезонного промерзания	До 1,2	-	0,95	-	-	0,95-0,92	-
	До 0,8	-	-	0,95-0,92	-	-	0,9

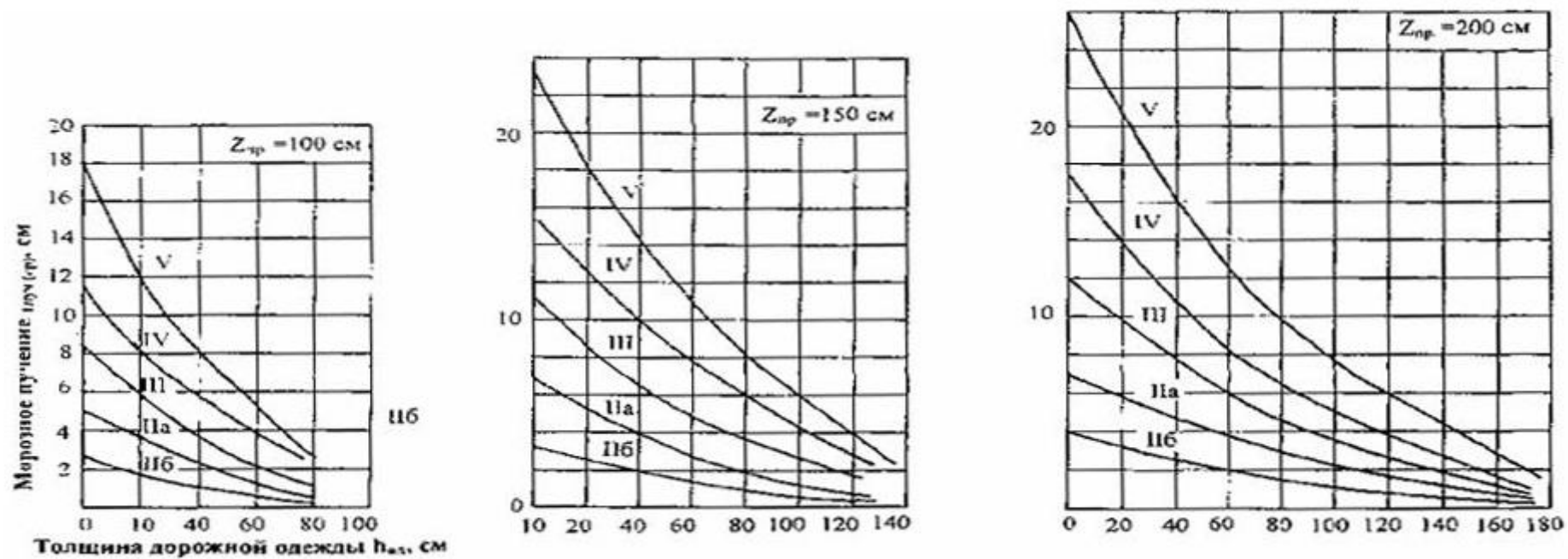


Рис.2.10.3 (ОДН 218.046-01, рис. 4.3). Графики для определения осредненной величины морозного пучения $l_{м.ср}$.

Примечания: 1. Кривую (II – V) выбирают по степени пучинистости в соответствии с табл. 10.1.

2. Кривую IIa выбирают при 2-й и 3-й схеме увлажнения рабочего слоя, кривую IIб – при 1-й схеме увлажнения.

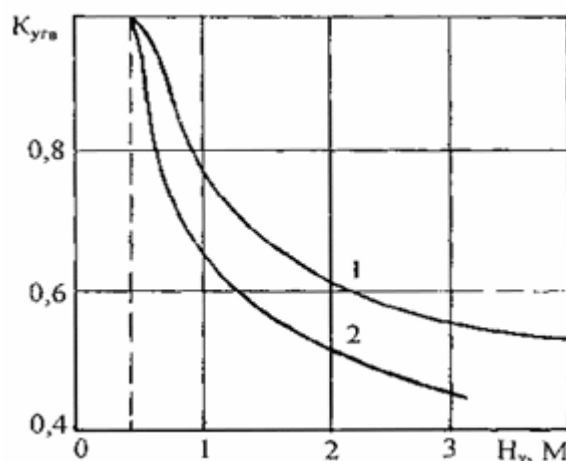


Рис.2.10.4. (ОДН 218.046-01, рис. 4.1).Зависимость коэффициента $K_{угв}$ от расстояния между низом дорожной одежды и расчётным УГВ или УПВ:

- 1 – супесь тяжёлая и тяжёлая пылеватая, суглинок;
2 – песок, супесь лёгкая и лёгкая крупная

Таблица 2.10.5

Значения коэффициента $K_{пл}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.4)

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$	
	песок пылеватый, супесь лёгкая и пылеватая, суглинки, глины	пески кроме пылеватых, супесь лёгкая крупная
1,03 - 1,00	0,8	1,0
1,01 - 0,98	1,0	1,0
0,97 - 0,95	1,2	1,1
0,94 - 0,90	1,3	1,2
менее 0,90	1,5	1,3

5.Определяют $K_{гр}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки по табл. 2.10.6.

Таблица 2.10.6

Значения коэффициента $K_{гр}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.5)

Грунт	$K_{гр}$
Пески	1,0
Супеси	1,1
Суглинки	1,3
Глины	1,5

6. Находят $K_{нагр}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое, по рис. 2.10.5.

7. Назначают $K_{вл}$ – коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта по табл. 2.10.7.

Таблица 2.10.7

Значения коэффициента $K_{вл}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.6)

Относительная влажность W/W_L	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_{вл}$	1,0	1,1	1,2	1,3

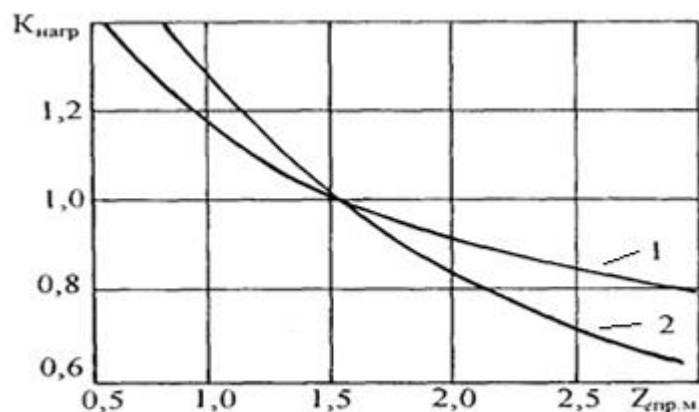


Рис. 2.10.5. (ОДН 218.046-01, рис. 4.2) Зависимость коэффициента $K_{нагр}$ от глубины промерзания $Z_{пр}$, отмеряемой от поверхности покрытия:
1 – супесь тяжелая и пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая крупная

Если при расчётном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать требуемую (табл. 2.10.2), а при сроке службы более 10 лет – 80 % от требуемой, то необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного слоя.

В этом случае предварительно определяют ориентировочно требуемую толщину морозоустойчивой конструкции дорожной одежды, используя графики рис. 2.10.4.

Для этого, зная допустимую величину морозного пучения $l_{доп}$, рассчитывают среднюю величину морозного пучения $l_{пуч.ср}$ по формуле:

$$l_{пуч.ср} = l_{доп} / K_{УГВ} K_{пл} K_{гр} K_{нагр} K_{вл}. \quad (10.6)$$

Затем по графику на рис. 10.4 в соответствии с группой грунта по степени пучинистости определяют $h_{до}$.

Пример 10.1.

Рассчитать на морозоустойчивость дорожные одежды, конструкция которых приведена в табл. 6.1 (табл. 10.8).

Дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края. Грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая, коэффициент уплотнения 1,01.

В соответствии с табл. 10.1 он относится к IV группе, т.е. сильнопучинистым грунтам.

1. По карте изолиний глубины промерзания (рис. 10.2) или строительному справочнику [9] определяем среднюю глубину промерзания $Z_{пр(ср)} = 2,31$ м. Тогда по формуле (10.4)

$$Z_{пр} = 2,31 \cdot 1,38 = 3,19 \text{ м.}$$

2. По графикам на рис. 2.10.3 устанавливаем величину морозного пучения при $Z_{пр} = 2,0$ м. Тогда $l_{пуч ср 2,0} = 4,5$ см.

Так как глубина промерзания дорожной конструкции $Z_{пр}$ более 2 м, то по формуле (10.5) при $Z_{пр}$ более 2,5 м:

$$l_{пуч ср} = l_{пуч ср 2,0} \cdot [a + b (Z_{пр} - c)] = 4,5 \cdot [1,08 + 0,08 \cdot (3,19 - 2,5)] = 5,1 \text{ см.}$$

3. Так как в примере расчёта грунтовые воды залегают глубоко и не влияют на влажность грунта земляного полотна, то для супеси пылеватой принимаем $K_{УГВ} = 0,53$.

Таблица 2.10.8

Конструкция дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвиго- уст., E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8 W_t$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

4. По заданному коэффициенту уплотнения грунта рабочего слоя 1,01 по табл. 10.5 назначаем $K_{пл} = 1$.

5. По табл. 2.10.6 коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки для супесей $K_{гр} = 1,1$.

6. По графику на рис. 2.10.5 для супеси пылеватой (линия 2) при $z_{пр} = 3,19$ м $K_{нагр} = 0,8$.

7. Из табл. 10.7 для относительной влажности 0,8 $K_{вл} = 1,2$.

8. Находим по формуле (10.3) величину

$$I_{пуч} = I_{пуч\text{ ср}} \cdot K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл} = 5,1 \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ см.}$$

9. Допускаемое значения пучения в соответствии с табл. 10.2 для капитальных дорожных одежд $l_{доп} = 4$ см.

Так как $3,6 < 4$, то условие (10.2) выполняется.

Таким образом, рассматриваемая конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию морозоустойчивости.

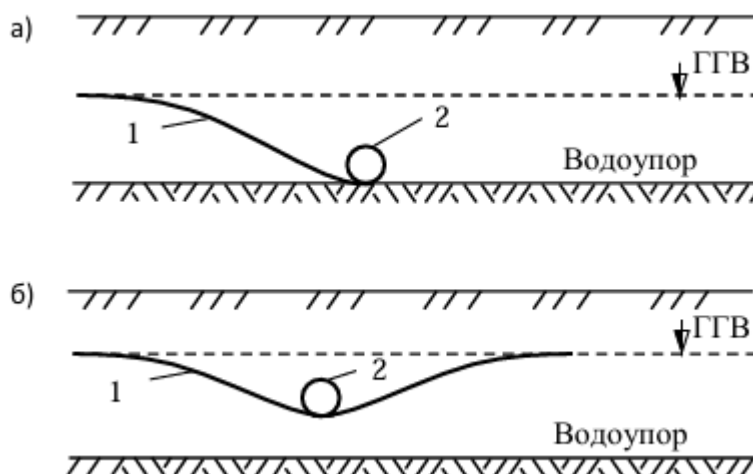
С целью обеспечения морозоустойчивости дорожных одежд применяют различные специальные мероприятия.

1. Использование непучинистых или слабопучинистых грунтов (табл. 2.10.1) для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания.

2. Осушение рабочего слоя земляного полотна (см. ОДН 218.046-01, гл. 5):

- устройство дренажа для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод.

Рис.10.6. Виды дренажа;
а – совершенный дренаж;
б – несовершенный дренаж;
1 – кривая депрессии;
2 – дренажная труба



- устройство гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек для перехода от 2-ой или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1 й схеме. Прослойки, прерывающие все виды перемещений устраивают из синтетических нетканых материалов (геотекстиля), обработанных органическим вяжущим на пучинистых и сильно пучинистых грунтах земляного полотна (рис. 2.10.7).



Рис.2.10.7. Конструкция влагоизолирующей прослойки

Прослойки, прерывающие только капиллярное поднятие, устраивают из крупнозернистых хорошо фильтрующих материалов (гравия, щебня или гравелистого песка). Толщина этих прослоек обычно не менее 15-20 см и должна превышать высоту капиллярного поднятия (рис. 2.10.8).

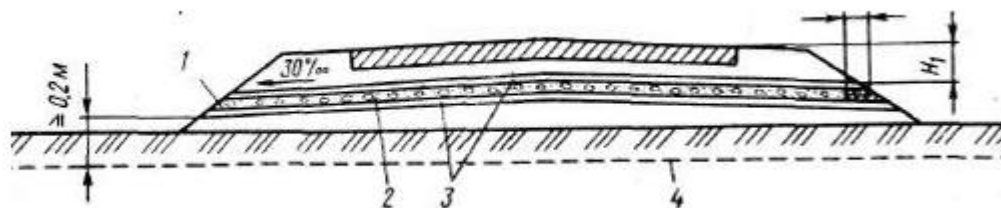


Рис. 10.8. Конструкция прослойки, прерывающей капиллярное поднятие;
1 – щебень; 2 – крупнозернистая прослойка; 3 – противоэрозийные прослойки;
4 – уровень грунтовых вод

Водонепроницаемые прослойки наиболее целесообразны в IV и V дорожно-климатических зонах, где грунтовые воды расположены глубоко и увлажнение земляного полотна происходит в результате парообразного перемещения.

Капилляро-прерывающие прослойки устраивают преимущественно во II и III дорожно-климатических зонах.

3. Устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов, в т.ч. укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;

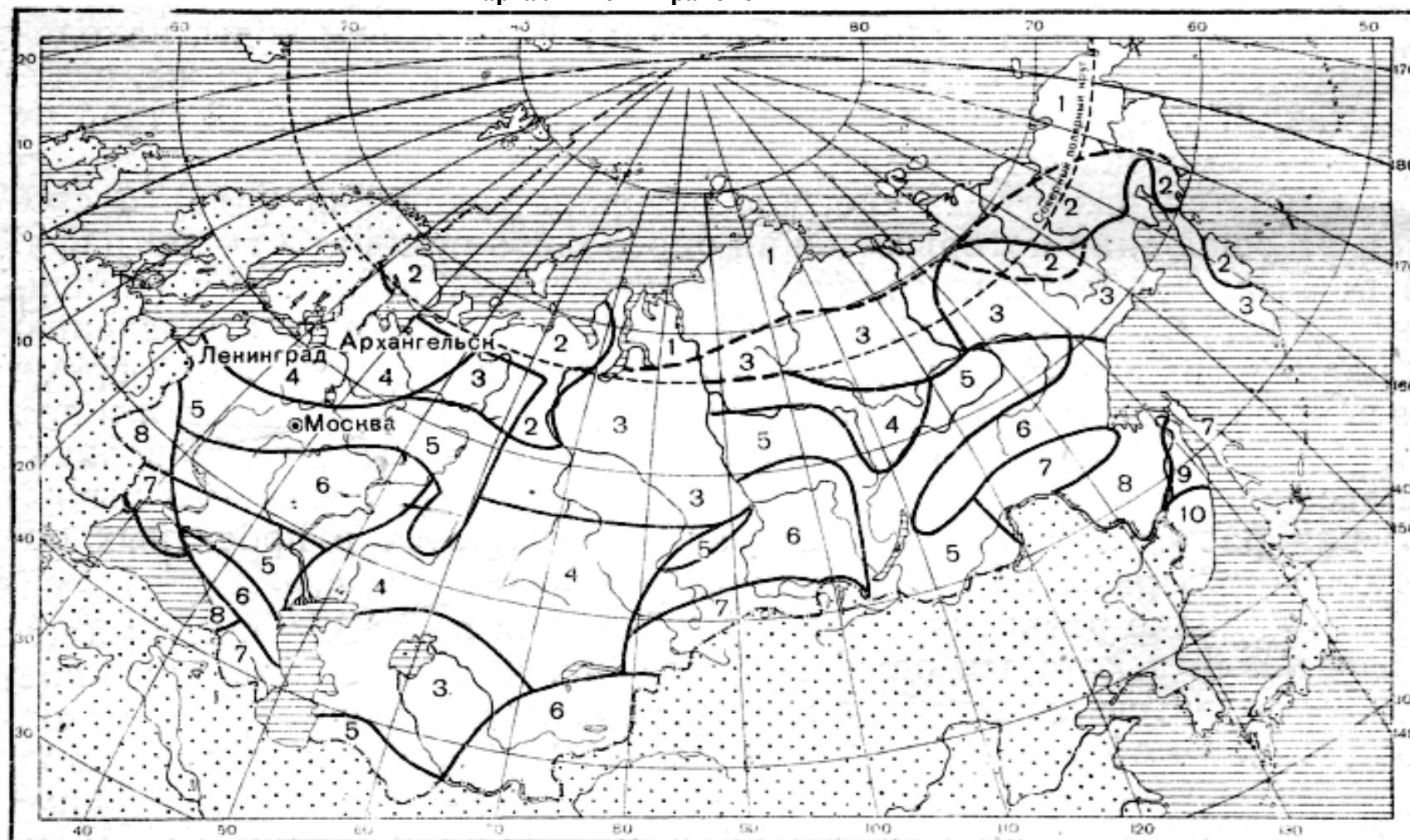
4. Устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключаящих промерзание грунта под дорожной одеждой (пенополистирольные плиты).

5. Устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона (содержит малое количество цемента) или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

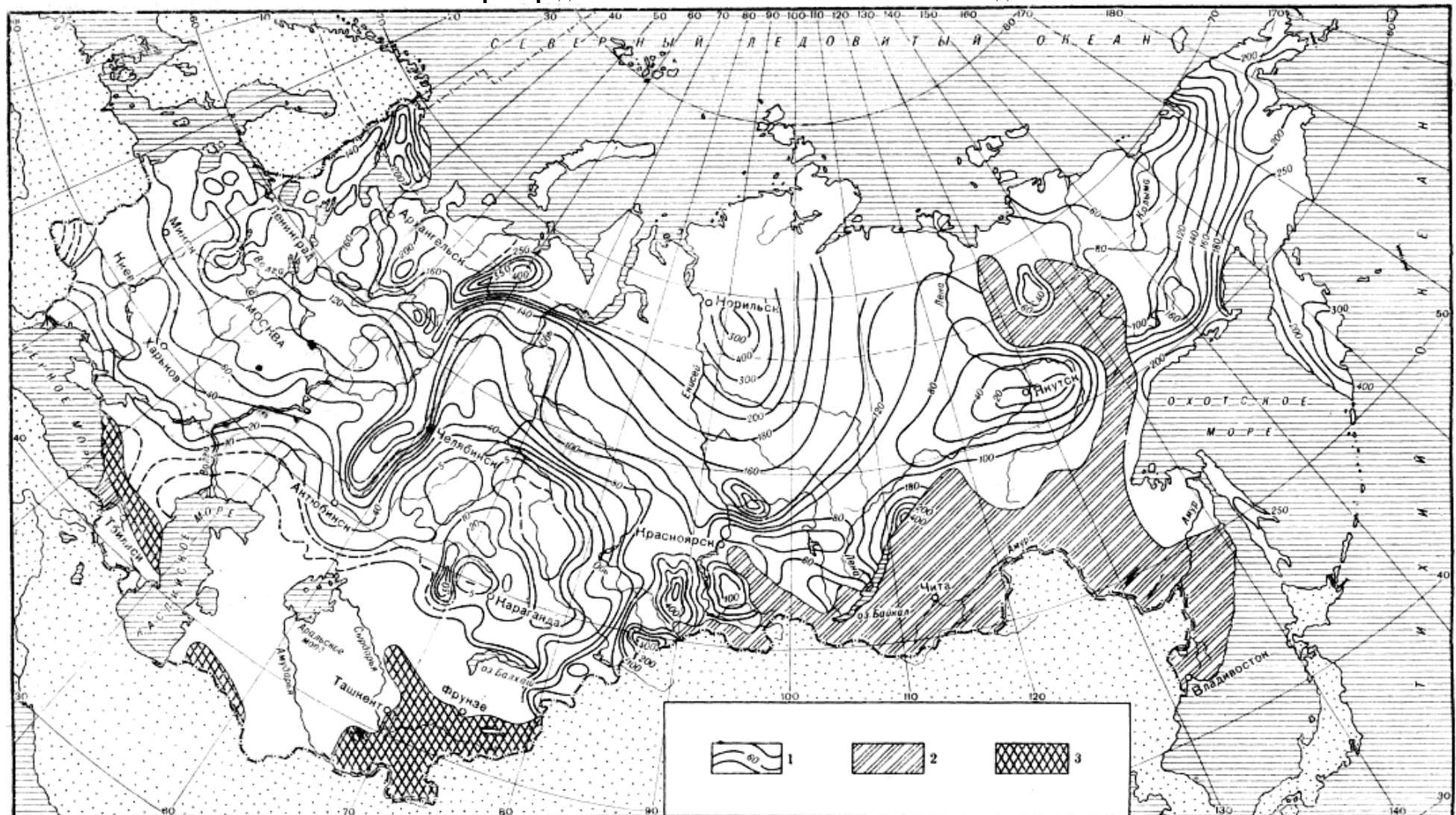
Литература:

1. ГОСТ Р 71404–2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежёсткие дорожные одежды. Правила проектирования. -Введ. 2024–09–01 - М.: Российский институт стандартизации, 2024. - 182 с.
2. ОДМ218.5.003–2010. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. - М.: Информавтодор, 2010. - 141 с.
3. ГОСТ Р 59120–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования.- М.: Стандартиформ, 2021. - 24 с.
4. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежёстких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.
5. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.
6. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
7. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартиформ», 2014. – 54 с.
8. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
9. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.
10. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартиформ», 2016. – 8 с.
11. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.
12. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

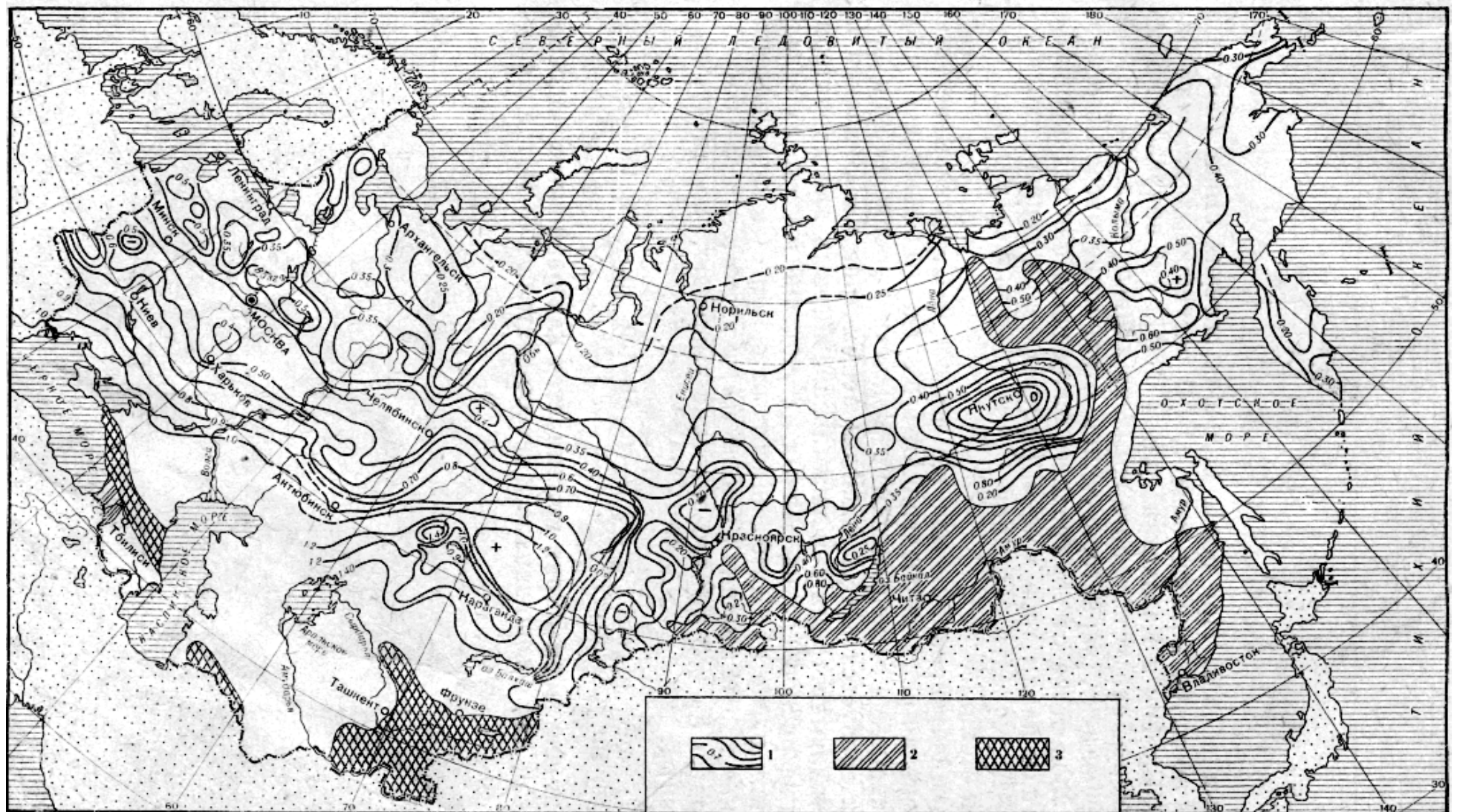
Карта ливневых районов



Карта среднего многолетнего слоя стока талых вод



Карта коэффициента вариации стока половодий



ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(пример)

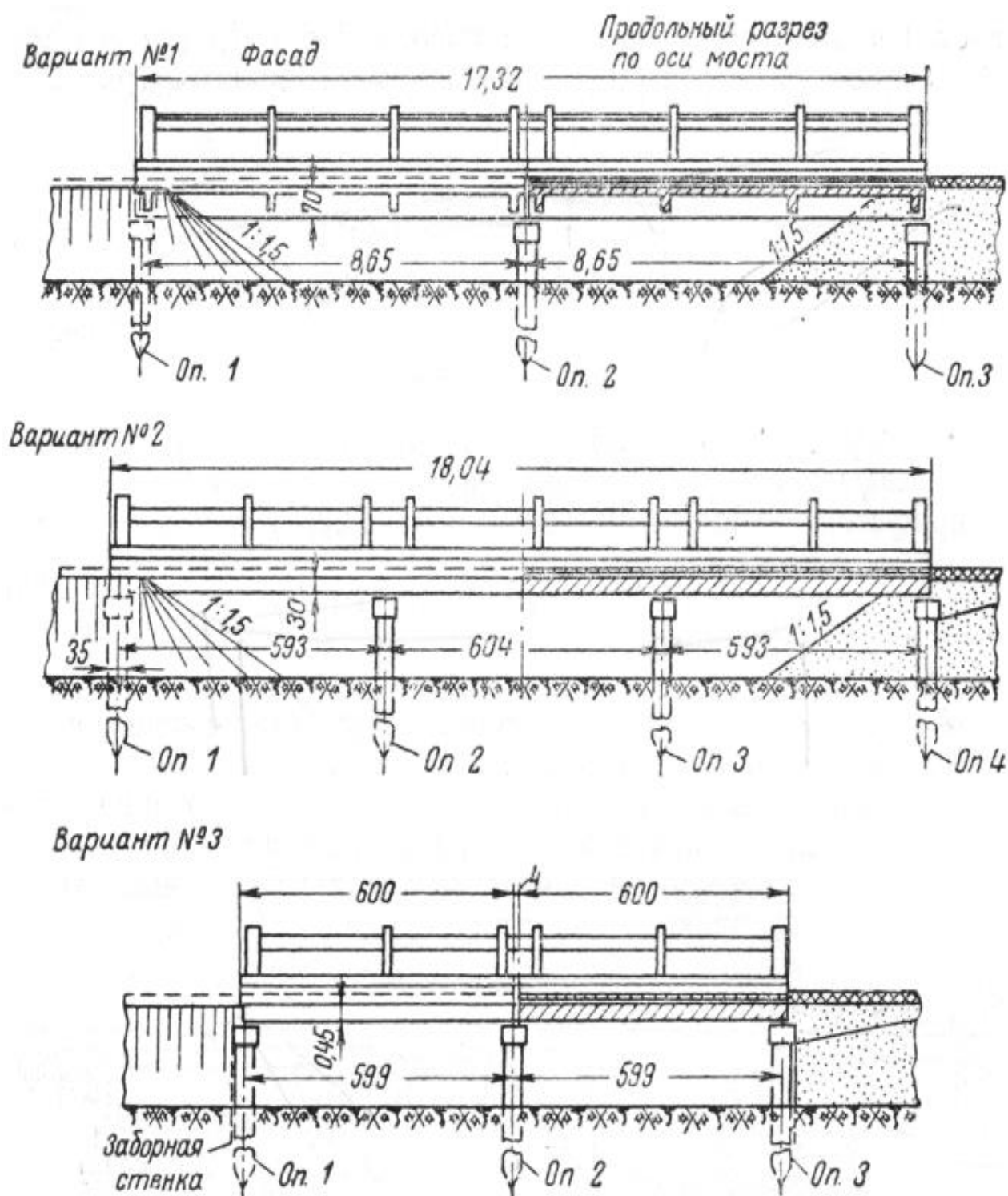
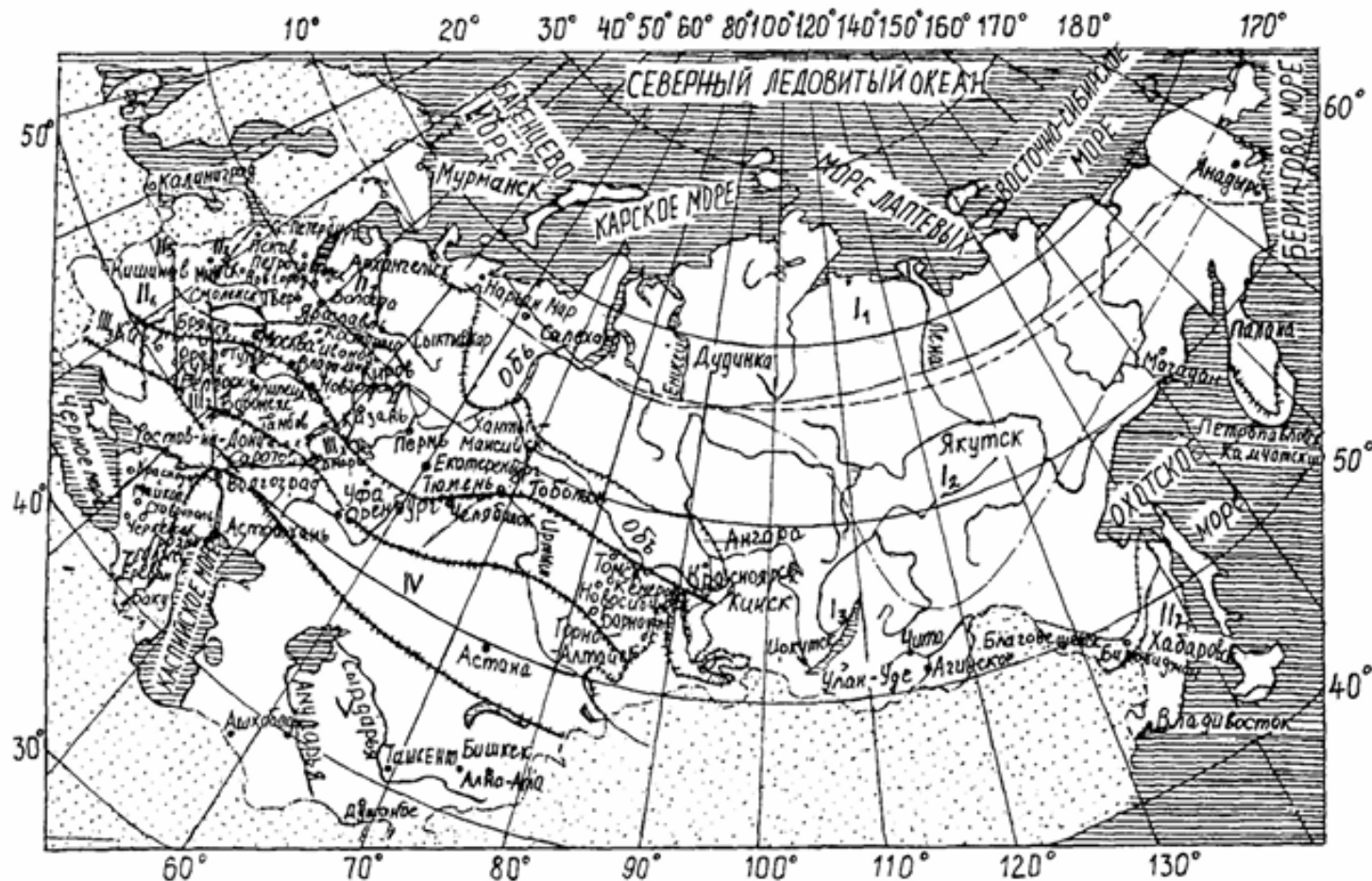


Рис.1. Варианты моста

Карта дорожно-климатических зон и подзон



— Границы дорожно-климатических зон; — — — Границы подзон.

Пример расчета конструкции дорожной одежды в программном комплексе IndorPavement для дороги III технической категории в Липецкой области

Исходные данные:

1. Категория дороги – III
2. $N_{\text{задан.}} = 2810$ авт./сутки
3. Состав движения:
 - Volkswahentiguan-20%;
 - FordMondeo-15%;
 - FordTourneoCustomмикроавтобус-23%;
 - FotonAumanH5-22%;
 - HyundaiXcient-5%;
 - НЕФАЗ-5299-7%;
 - МАЗ-241-10%.
4. Ежегодный рост интенсивности – 5% (по заданию)
5. Дорожно – климатическая зона- 3
6. Тип местности по увлажнению – I
7. Грунтовые условия (по заданию):
 - растительный слой - 0,20 м;
 - суглинок тяжелый пылеватый - 0,20-0,8 м;
 - суглинки на глубине 0,8-2,2 м;
 - глины - далее.

5.1. Конструирование и расчёт дорожной одежды

Дорожную одежду конструируем с использованием программного комплекса IndorPavement согласно ГОСТ Р 71404–2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования» [7], ГОСТ Р 59120–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования» [8].

Согласно выданного задания запроектирован один вариант:

1) Конструктивный слой № 1: 5,0 см

Асфальтобетон А16Вн по ГОСТ 58406.2-2020 на битумном вяжущем марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014, с максимальным размером зёрен 16 мм.

2) Конструктивный слой № 2: 8,0 см

Асфальтобетон А32Нн по ГОСТ 58406.2-2020 на битумном вяжущем марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014, с максимальным размером зёрен 32 мм.

3) Конструктивный слой № 3: 45,0 см

Щебень фракционированный 31,5 – 63 мм по ГОСТ 32703-2014 с заклинкой фракционированным мелким щебнем.

4) Конструктивный слой № 4: 25,0 см

Песок очень мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции 1-5% по ГОСТ 32824.

Грунт земляного полотна - Суглинок тяжёлый пылеватый

$E=40,3$ МПа, $\phi=7,26^\circ$, $\phi_{\text{стат.}}=15,85^\circ$, $c=0,00810$ МПа.

Исходные данные

Название объекта:	Автомобильная дорога
Район проектирования:	Самарская область
Выполняемые расчёты:	На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, стат. нагрузку, морозоустойчивость, дренаж
Дорожно-климатическая зона:	III, подзона 1
Схема увлажнения:	Схема 1
Расчетная влажность грунта	

Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта	$W_{таб}=0,65$	
Коэффициент нормированного отклонения	$t=1,32$ [7, табл.П.В.3]	
Тип местности по рельефу	равнинный	
Поправка по типу земполотна	$\Delta=0$	
Поправка на особенности рельефа территории	$\Delta_1 W=0$	
Поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин	$\Delta_2 W=0$ [7, табл.П.В.2]	
Поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды	$\Delta_3=0$ [7, номогр. П.В.2]	
Расчетная влажность грунта определена по [7, номогр. П.В.1], формула (15):		
$W_p = (W_{таб} + \Delta + \Delta_1 W - \Delta_2 W) \times (1 + 0,1 \times t) - \Delta_3$		(15)
$W_p = (0,65 + 0 + 0 - 0) \times (1 + 0,1 \times 1,32) - 0 = 0,74$		
Коэффициент уплотнения грунта:	0,97	
Глубина промерзания дорожной конструкции, м:	1,38	
Средняя многолетняя глубина промерзания, м:	1,00	
Высота насыпи:	0,00 м	
Продольный уклон выше перелома профиля i_1 , %:	40,00	
Продольный уклон ниже перелома профиля i_2 , %:	20,00	
Поперечный уклон дренающего слоя i , %:	20,00	
Коэффициент снижения притока воды K_p :	1,00	

Проектные данные

Техническая категория дороги:	III категория
Тип дорожной одежды:	Капитальный
Требуемые коэффициенты прочности при заданной надёжности K_n :	0,90 [7, табл.5]
Требуемый $K_{пр}$ (упругий прогиб):	1,15
Требуемый $K_{пр}$ (сдвиг, изгиб):	1
Коэффициент нормированного отклонения	$t = 132$
Расчётный срок службы $T_{сл}$, лет:	12
Ширина проезжей части, м:	7,5
Число полос движения (в обе стороны):	2
Номер расчётной полосы от обочины:	1

Расчётная нагрузка

Группа расчётной нагрузки	A11,5 [7, табл. 1]
Давление в шине p , МПа:	0,8
Диаметр отпечатка шины $D_{дин.}$, см:	34,50
Статическая нагрузка на ось $Q_{ст}$, кН:	115,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность Q_n , кН:	57,5

Суммарное число приложений нагрузки

Требуемый модуль упругости $E_{тр} = 250$ МПа	
$\Sigma N_p = 10^{E_{тр} / (98,65 \sqrt{p/0,6}) + c} = 10^{250 / (98,65 \sqrt{0,8 / 0,6}) + 3,2} \approx 248137,18 \text{ед.}$	(16)

Расчёт на упругий прогиб

[7, номогр. Е.1]

$$\frac{E_n}{E_b} = \frac{E_4}{E_4} = \frac{40,27}{100} = 0,4027; \quad \frac{h_b}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{25}{34,5} = 0,7246; \quad \frac{E_{пов}}{E_b} = \frac{E_{пов}^3}{E_4} \approx 0,64529 \quad (17-19)$$

$$E_{пов}^3 = 0,64529 \cdot 100 = 64,53 \text{ МПа}$$

[7, номогр. Е1]

$$\frac{E_n}{E_b} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{64,53}{350} = 0,1844; \quad \frac{h_b}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{45}{34,5} = 1,3043; \quad \frac{E_{пов}}{E_b} = \frac{E_{пов}^2}{E_3} \approx 0,54892 \quad (20-22)$$

$$E_{пов}^2 = 0,54892 \cdot 350 = 192,12 \text{ МПа}$$

[7, номогр. Е1] [7, номогр. Е.1]

$$\frac{E_H}{E_B} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{192,12}{4150} = 0,0463; \frac{h_B}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{13}{34,5} = 0,3768; \frac{E_{пов}}{E_B} = \frac{E_{пов}^0}{E_1} \approx 0,10751 \quad (23-25)$$

$$E_{пов}^0 = 0,010571 \cdot 4150 = 438,7 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{E_{пов}}{E_{min}} = \frac{438,7}{250} = 1,75; \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \cdot 100\% = \frac{1,75 - 1,15}{1,15} \cdot 100\% = 52,17\% \quad (26-27)$$

Прочность по критерию допустимого упругого прогиба конструкции обеспечена.

Расчёт на сдвигустойчивость

Конструктивный слой № 4

Материал: песок очень мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции 1-5% по ГОСТ 32824

$E = 100,0 \text{ МПа}$, $\phi = 24,84^\circ$, $\phi_{стат.} = 31,00^\circ$, $c = 0,00384 \text{ МПа}$

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [7, формула 16], по формуле (28):

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{1450 \cdot 5 + 1450 \cdot 8 + 350 \cdot 45}{5 + 8 + 45} = 596,6 \text{ МПа} \quad (28)$$

[7, номогр. Е.31, Е.33], формула (29-30):

$$\frac{E_B}{E_{общ}} = \frac{596,6}{64,5} = 9,24; \frac{h_B}{D} = \frac{58}{34,5} = 1,68; \tau_H \approx 0,01611 \text{ МПа} \quad (29-30)$$

Активное напряжение сдвига [7, формула 14], формула (31):

$$T = \tau_H \cdot p = 0,01611 \cdot 0,8 = 0,01289 \text{ МПа} \quad (31)$$

Коэффициент $k_d = 2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$z_{оп} = 5 + 8 + 45 = 58 \text{ см}$

Средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого, формула (32):

$$\gamma_{ср} = \frac{2500 \cdot 5 + 2500 \cdot 8 + 1600 \cdot 45}{5 + 8 + 45} = 1801,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,001802 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3} \quad (32)$$

Предельное активное напряжение сдвига [21, формула 12] рассчитано по формуле (33):

$$T_{пр} = k_d \cdot (c_n + 0,1 \cdot \gamma_{ср} \cdot z_{оп} \cdot \text{tg} \phi_{стат.}) = 2 \cdot (0,00384 + 0,1 \cdot 0,001802 \cdot 58 \cdot \text{tg} 24,84^\circ) \approx 0,01735 \text{ МПа}$$

$$K_{расч} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,01735}{0,01282} = 1,35; \frac{K_{расч} - K_{тр}}{K_{тр}} \cdot 100\% = \frac{1,35 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 35\% \quad (34-35)$$

Прочность по критерию сдвигустойчивости слоя обеспечена.

Грунт земляного полотна

По формулам (63-70)

Материал: Суглинок тяжелый пылеватый

$E = 40,3 \text{ МПа}$, $\phi = 7,26^\circ$, $\phi_{стат.} = 15,85^\circ$, $c = 0,00810 \text{ МПа}$

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [7, формула 16], по формуле (36):

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{1450 \cdot 5 + 1450 \cdot 8 + 350 \cdot 45 + 100 \cdot 25}{5 + 8 + 45 + 25} = 447 \text{ МПа} \quad (36)$$

[7, номогр. Е.12, Е.14], формула (37-38):

$$\frac{E_B}{E_{общ}} = \frac{447}{40,3} = 11,1; \frac{h_B}{D} = \frac{83}{34,5} = 2,41; \tau_H \approx 0,00987 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [7, формула 14], формула (39):

$$T = \tau_n \cdot p = 0,00987 \cdot 0,8 = 0,00789 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d=1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 5+8+45+25=83 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого, формула (40):

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2500 \cdot 5 + 2500 \cdot 8 + 1600 \cdot 45 + 1700 \cdot 25}{5 + 8 + 45 + 25} = 1771,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,001771 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3} \quad (40)$$

Предельное активное напряжение сдвига [21, формула 12] рассчитано по формуле (41-43):

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_n + 0,1 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{стат}}) = 1 \cdot (0,0081 + 0,1 \cdot 0,001771 \cdot 83 \cdot \text{tg} 7,26^\circ \approx 0,00997 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,00997}{0,00789} = 1,26; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \cdot 100\% = \frac{1,26 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 26\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

Расчет на статическую нагрузку

Конструктивный слой № 4

Материал: песок очень мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции 1-5% по ГОСТ 32824

$$E = 100,0 \text{ МПа}, \phi = 24,84^\circ, \phi_{\text{стат}} = 31,00^\circ, c = 0,00384 \text{ МПа}$$

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [21, формула 16], по формуле (44):

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{340 \cdot 5 + 340 \cdot 8 + 350 \cdot 45}{5 + 8 + 45} = 347,8 \text{ МПа} \quad (44)$$

[7, номогр. Е.39, Е.41], формула (45-46):

$$\frac{E_b}{E_{\text{общ}}} = \frac{347,8}{64,5} = 5,39; \quad \frac{h_b}{D} = \frac{58}{30,3} = 1,91; \quad \tau_n \approx 0,01586 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [21, формула 14], формула (47):

$$T = \tau_n \cdot p = 0,01586 \cdot 0,8 = 0,01269 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d=2$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции

$$z_{\text{оп}} = 5+8+45=58 \text{ см}$$

Средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого, формула (48):

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2500 \cdot 5 + 2500 \cdot 8 + 1600 \cdot 45}{5 + 8 + 45} = 1801,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,001802 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3} \quad (48)$$

Предельное активное напряжение сдвига [7, формула 12] рассчитано по формуле (49-51):

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_n + 0,1 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{стат}}) = 2 \cdot (0,005 + 0,1 \cdot 0,001802 \cdot 58 \cdot \text{tg} 31^\circ \approx 0,02256 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,02256}{0,01269} = 1,78; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \cdot 100\% = \frac{1,78 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 78\% \quad (50-51)$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости слоя обеспечена.

Грунт земляного полотна

По формулам (44-51)

Материал: Суглинок тяжелый пылеватый

$$E = 40,3 \text{ МПа}, \phi = 7,26^\circ, \phi_{\text{стат}} = 15,85^\circ, c = 0,00810 \text{ МПа}$$

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв [7, формула 16], по формуле (44):

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^4 h_i} = \frac{340 \cdot 5 + 340 \cdot 8 + 350 \cdot 45 + 100 \cdot 25}{5 + 8 + 45 + 25} = 273,1 \text{ МПа}$$

[7, номогр. Е.22, Е.24], формула (45-46):

$$\frac{E_B}{E_{\text{общ}}} = \frac{273,1}{40,3} = 6,78; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{83}{30,3} = 2,74; \quad \tau_n \approx 0,00898 \text{ МПа}$$

Активное напряжение сдвига [7, формула 14], формула (47):

$$T = \tau_n \cdot p = 0,0898 \cdot 0,8 = 0,00719 \text{ МПа}$$

Коэффициент $k_d=1$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции $z_{\text{оп}} = 5+8+45+25=83 \text{ см}$

Средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого, формула (48):

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{2500 \cdot 5 + 2500 \cdot 8 + 1600 \cdot 45 + 1700 \cdot 25}{5 + 8 + 45 + 25} = 1771,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,001771 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

Предельное активное напряжение сдвига [21, формула 12] рассчитано по формуле (49-51):

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_n + 0,1 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{стат}}) = 1 \cdot (0,01614 + 0,1 \cdot 0,001771 \cdot 83 \cdot \text{tg} 15,85^\circ \approx 0,02031 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,02031}{0,00719} = 2,83; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \cdot 100\% = \frac{2,83 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 183\%$$

Прочность по критерию сдвигоустойчивости грунта земляного полотна обеспечена.

Расчёт на изгиб

Материал нижнего слоя монолитного блока: Асфальтобетон А32Нн по ГОСТ 58406.2-2020 на битумном вяжущем марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014, с максимальным размером зерен 32 мм

Нормативное сопротивление весной $R_0 = 9,5 \text{ МПа}$.

Коэффициент, учитывающий реальный режим растяжения повторной нагрузкой $a = 5,9$ [7, табл. Г.5].

Коэффициент, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя $m = 5,5$ [7, табл. Г.5].

Коэффициент, учитывающий влияние на прочность усталостных процессов [7, формула 19], формула (52):

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} = \frac{5,9}{\sqrt[5,5]{(248137)}} = 0,617 \quad (52)$$

Коэффициент снижения прочности $k_2=0,8$.

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе [7, формула 18], формулы (53-54):

$$R_n = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - \nu_r \cdot t) = 9,5 \cdot 0,617 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,32) = 4,068 \text{ МПа} \quad (53)$$

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{6400 \cdot 5 + 6400 \cdot 8}{5 + 8} = 6400 \text{ МПа} \quad (54)$$

Общий модуль упругости основания $E_{\text{общ}} = 192,1 \text{ МПа}$.

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку [7, номогр. Е.52], формулы (55-56):

$$\frac{E_B}{E_{\text{общ}}} = \frac{6400}{192,1} = 33,3; \quad \frac{h_B}{D} = \frac{13}{34,5} = 0,38; \quad \bar{\sigma}_r \approx 3,13 \text{ МПа} \quad (55-56)$$

Расчетное напряжение [7, формула 20], формула (57):

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \cdot p \cdot k_b = 3,13 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 2,129 \text{ МПа} \quad (57)$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{4,068}{2,129} = 1,91; \quad \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}}{K_{\text{тр}}} \cdot 100\% = \frac{1,91 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 91,05\% \quad (58-59)$$

Прочность по критерию растяжения при изгибе монолитных слоев конструкции обеспечена.

Результаты расчета на морозоустойчивость

Материал грунта – суглинок тяжелый пылеватый

Группа грунта по степени пучинистости – 4

Высота насыпи - 0 м, уровень грунтовых вод – 2,0 м, толщина конструкции – 0,83 м.

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды)

$$H_y = 0 + 2,0 - 0,83 = 1,17 \text{ м}$$

Величина морозного пучения при осредненных условиях и глубине промерзания 1,38 м [7, номогр. 6] $l_{\text{пуч.ср.2}} = 4,8 \text{ см}$;

Коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод [7, номогр.7] $K_{\text{утв}} = 0,6$;

Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя [7, табл.11] $K_{\text{пл}} = 1,2$;

Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта $K_{\text{гр}} = 1,3$;

Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое [7, номогр.8] $K_{\text{нагр}} = 0,2$;

Коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта [7, табл.12] $K_{\text{вл}} = 1,11$.

Коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта [7, формула 28] $K_{\text{зпр}} = 1,0$.

Величина возможного морозного пучения [7, формула 28], определена по формуле (60):

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч.ср}} \cdot K_{\text{утв}} \cdot K_{\text{пл}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{нагр}} \cdot K_{\text{вл}} = 4,8 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 0,2 \cdot 1,11 = 1,02 \text{ см} \quad (60)$$

$$l_{\text{доп}} = 4,8 \text{ см} [8, \text{табл. 2}]$$

Ожидаемая пучинистость грунта $1,02 \text{ см} < 80\%$ от допустимой 4,8 см.

Морозоустойчивость конструкции обеспечена.

Расчет дренажного слоя

Расчет не может быть произведен, так как в конструкции отсутствует дренажный слой.

Расчетные характеристики конструкции дорожной одежды сведены (табл.15, рис.6).

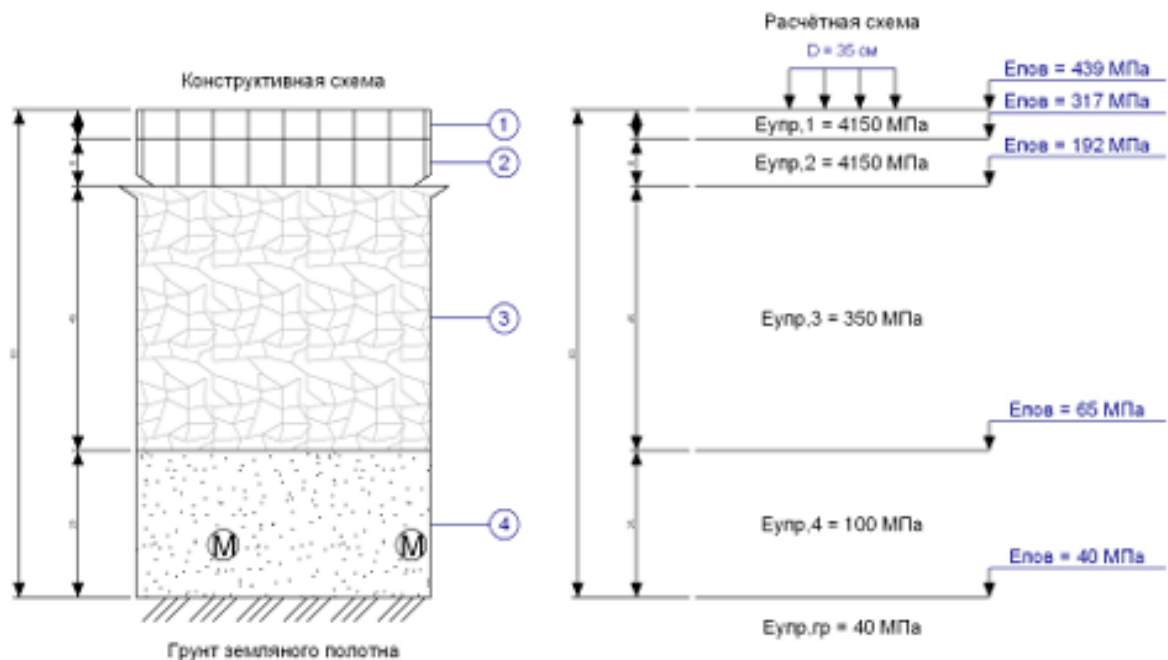


Рис.6. Схемы конструкции дорожной одежды

Таблица 15

Расчетные характеристики дорожной одежды

№ № п/п	Наименование слоев	Толщина слоя, см	Общий модуль упругости на поверхности слоев, МПа	Расчетные характеристики, МПа				Морозо- устой- чивость	Дренаж
				Модуль упругости $E_{упр}$,	Сдвиг, $E_{сдв}$	Изгиб, $E_{изг}$	Стат. нагрузка, $E_{стат}$		
1	Асфальтобетон А16Вн по ГОСТ 58406.2-2020 на битумном вяжущем марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014, с максимальным размером зёрен 16 мм	5	$E_{пов} = 439$	$E_{упр} = 4150$ $K_{тр} = 1,150$ $K_{расч} = 1,750$ Запас= 52 %	$E_{сдв} = 1450$	$E_{изг} = 6400$	$E_{стат} = 340$		
2	Асфальтобетон А32Нн по ГОСТ 58406.2-2020 на битумном вяжущем марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133-2014, с максимальным размером зёрен 32 мм	8	$E_{пов} = 317$	$E_{упр} = 4150$	$E_{сдв} = 1450$	$E_{изг} = 6400$ $K_{тр} = 1,0$ $K_{расч} = 1,911$ Запас= 91%	$E_{стат} = 340$		
3	Щебень фракционированный 31,5 – 63 мм по ГОСТ 32703-2014 с заклиной фракционированным мелким щебнем	45	$E_{пов} = 192$	$E_{упр} = 350$	$E_{сдв} = 350$	$E_{изг} = 350$	$E_{стат} = 350$		
4	Песок очень мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции 1-5% по ГОСТ 32824.	25	$E_{пов} = 65$	$E_{упр} = 100$	$E_{сдв} = 100$ $K_{тр} = 1,0$ $K_{расч} = 1,350$ Запас= 35%	$E_{изг} = 100$	$E_{стат} = 100$ $K_{тр} = 1,0$ $K_{расч} = 1,780$ Запас= 78%		
	Грунт земляного полотна – Суглинок тяжёлый пылеватый	$\Sigma=83$	$E_{пов} = 40$	$E_{упр} = 40$	$E_{сдв} = 40$ $K_{тр} = 1,0$ $K_{расч} = 1,26$ Запас= 26%		$E_{стат} = 40$ $K_{тр} = 1,0$ $K_{расч} = 2,830$ Запас= 183%	$L_{доп} = 5$ см $L_{пуч} = 1$ см Запас = 3 см	

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Бланк задания

дисциплина: **Проектирование дорожных одежд и искусственных сооружений**

Задание на курсовой проект «Проектирование дорожных одежд и искусственных сооружений»

Студенту _____
(Ф.И.О., группа)

1. Исходные данные для выполнения проекта:

Данные курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования автомобильных дорог (план трассы, продольный и поперечные профили земляного полотна)

1. Топографическая карта местности в масштабе 1 : 10000 (1:25000).
2. Дорога проектируется между: _____
3. Район проложения трассы _____
4. Грунтовые условия (согласно продольного профиля):
Супеси на глубине _____, Суглинки на глубине _____
Глины на глубине _____, Пески на глубине _____
Растительный слой _____.
5. Категория дороги _____

2. Состав проекта:

а). Пояснительная записка

Введение (цели, задачи проектирования)

Глава 1. Характеристика района проектирования автомобильной дороги

- 1.1. Общая характеристика района проектирования
 - 1.2. Транспортная сеть
 - 1.3. Природно-климатическая характеристика
 - 1.3.1. Климат
 - 1.3.2. Гидрология
 - 1.3.3. Рельеф. Геология
 - 1.3.4. Почвы и растительность
 - 1.3.5. Полезные ископаемые. Дорожно-строительные материалы
 - 1.4. Характеристика автомобильной дороги (категория, технические параметры)
- Глава 2. Искусственные сооружения (расчет трубы или моста).
Глава 3. Расчет дорожной одежды.
Заключение
Список используемой литературы

б). Графическая часть (может быть выполнена с использованием программных комплексов)

1. Чертеж трубы (М 1:100 (М1:200) (план трубы, поперечный разрез, оголовки, ведомости) формат А₂ либо А₁
2. Конструкция дорожной одежды (М1:100 (1:200) (конструкция, расчетные схемы и характеристики, объемы работ) на формате А₂ либо А₁

Преподаватель _____/Е.В.Вязова/ Студент _____/_____/

образец углового штампа
на листах
пояснительной записки

120	15
Проектирование ДОиИС. КП-2024	Лист
	№ п/п

5
10

Вязова Е.В

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания по выполнению курсового проекта
по дисциплине

«Проектирование дорожных одежд и искусственных сооружений»
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»
по профилю «Автомобильные дороги»
всех форм обучения

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)» Волжский филиал
428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей,
д. 101, корп.30