

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Проектирование, строительство
и эксплуатация транспортных объектов»**

Г. В. АХРАМЕНКО

**ПЕРЕУСТРОЙСТВО УЧАСТКА
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ С
ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**

Учебно-методическое пособие

Гомель 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Проектирование, строительство
и эксплуатация транспортных объектов»

Г. В. АХРАМЕНКО

ПЕРЕУСТРОЙСТВО УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области строительства и архитектура в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Гомель 2020

УДК 625.7. 004.68 (075.8)
ББК 39.311
А95

Р е ц е н з е н т ы – генеральный директор производственного унитарного объединения «Гомельавтодор» *С. Н. Лазбекин*;
заведующая кафедрой «Автомобильные дороги» Бело-
русско-Российского университета *А. Ю. Скриган*

Ахраменко, Г. В.

А95 Переустройство участка автомобильной дороги с целью повышения пропускной способности : учеб.-метод. пособие / Г. В. Ахраменко; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 103 с.

ISBN 978-985-468-906-7

Изложены вопросы по анализу влияния различных факторов на пропускную способность автомобильных дорог, приведены мероприятия по повышению пропускной способности, а также вопросы по переустройству плана, продольного профиля, дорожных одежд, земляного полотна и пересечений (примыканий) при реконструкции существующих автомобильных дорог. Для экономического обоснования реконструкции приведено определение экономической эффективности мероприятий по реконструкции. Приведены примеры выполнения разделов проекта по реконструкции элементов плана, продольного профиля, дорожных одежд и земляного полотна.

Предназначено для студентов специальности «Автомобильные дороги».

УДК 625.7.004.68 (075.8)
ББК 39.311

ISBN 978-985-468-906-7

© Ахраменко Г. В. 2020
© Оформление. УО «БелГУТ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Основные характеристики движения потока автомобилей	5
1.1 Интенсивность движения	5
1.2 Состав движения	7
1.3 Скорость движения	7
1.4 Мероприятия по повышению пропускной способности дорог	7
2 Оценка существующей автомобильной дороги по степени обеспечения безопасности движения	9
2.1 Метод коэффициентов аварийности	9
2.2 Метод коэффициентов безопасности	10
3 Реконструкция автомобильной дороги	17
3.1 Реконструкция плана автомобильной дороги	18
3.1.1 Увеличение радиусов кривых	21
3.1.2 Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых	23
3.1.3 Улучшение пересечений водотоков	27
3.2 Реконструкция водопропускных сооружений	27
3.2.1 Определение расходов воды при ливневом стоке	30
3.2.2 Определение расходов воды при стоке от снеготаяния	31
3.2.3 Назначение мероприятий по реконструкции водопропускных сооружений	32
3.3 Реконструкция дорожных одежд	34
3.3.1 Определение приведенной интенсивности движения и требуемого модуля упругости	35
3.3.2 Усиление дорожных одежд	38
3.3.3 Проектирование новой дорожной одежды	43
3.4 Обеспечение морозоустойчивости дорожной одежды	56
3.5 Пример проектирования новой дорожной одежды и усиления существующей	57
3.5.1 Определение расчетной интенсивности движения и требуемого модуля упругости	57
3.5.2 Усиление существующей дорожной одежды	59
3.5.3 Назначение новой конструкции дорожной одежды	
3.6 Реконструкция продольного профиля	60
3.6.1 Анализ продольного профиля и плана существующей автомобильной дороги	65
3.6.2 Определение высотных отметок контрольных точек	67
3.6.3 Определение рекомендуемых рабочих отметок насыпей	63
3.6.4 Нанесение проектной линии	70
3.7 Реконструкция земляного полотна	71
3.8 Реконструкция пересечений (примыканий) в одном уровне	73
3.8.1 Расчет сопряжения кромок проезжих частей пересекающихся (примыкающих) дорог	73
3.8.2 Проектирование островков с зоной безопасности, каплевидных островков на второстепенной дороге, треугольных направляющих	76

островков и дополнительных полос	76
3.8.3 Пример расчета коробовой кривой	77
4 Назначение мероприятий по организации и безопасности движения	81
5 Определение экономической эффективности мероприятий по реконструкции участка автомобильной дороги	84
5.1 Экономия от снижения транспортно-эксплуатационных расходов	84
5.2 Экономический эффект за счет снижения потерь от ДТП	86
5.3 Определение общей экономической эффективности капитальных вложений	87
Список использованной и рекомендуемой литературы	87
Приложения	
А Исходные данные для проектирования автодороги	89
Б Характеристика грунтов земляного полотна и материалов дорожной одежды	93
В Расчетные значения прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев дорожных одежд	97
Г Поперечные профили земляного полотна	103
Д Продольный профиль	вкл

ВВЕДЕНИЕ

Пропускная способность зависит от большого числа факторов: дорожных условий (ширины проезжей части, продольного уклона, радиуса кривых в плане, расстояния видимости и др.), состава потока автомобилей, наличия средств регулирования, погодных-климатических условий, возможности маневрирования автомобилей по ширине проезжей части, психофизиологических особенностей водителей и конструкции автомобилей. Изменение хотя бы одного из этих факторов приводит к существенным колебаниям пропускной способности в течение суток, месяца, сезона и года. При частом расположении помех на дороге происходят значительные колебания скорости, приводящие к появлению большого числа автомобилей, движущихся в группах, а также снижению средней скорости всего потока.

На пропускную способность маршрута в целом существенно влияет время, затрачиваемое на преодоление узких мест отдельных участков дороги. Продолжительность этого времени может меняться от нескольких десятков секунд на регулируемых пересечениях до нескольких минут на затяжных подъемах и железнодорожных переездах. Увеличение этого времени может резко изменить пропускную способность и создать заторы, а также увеличить протяжение участка, на котором сказывается влияние затора на режим движения автомобилей. Поэтому снижение продолжительности преодоления узких мест позволяет улучшить условия движения не только в их зоне, но и в целом по дороге, повысить ее пропускную способность.

Определение пропускной способности необходимо не только для выявления участков, требующих улучшения условий движения, но и для оценки экономичности и удобства движения всего потока автомобилей по маршруту, выбора эффективных средств организации движения. Любая дорога может работать при нагрузках различной интенсивности. При этом предельной будет интенсивность, соответствующая пропускной способности дороги. Эффективность транспортной работы дороги может характеризоваться как пропускной способностью, так и интенсивностью, при которой движение по дороге наиболее экономично и оптимально по условиям работы водителя.

Пропускная способность автомобильных дорог может быть повышена:

- 1) проектированием сочетания элементов плана и продольного профиля, не вызывающих резкого изменения скоростей;
- 2) назначением ширины проезжей части, позволяющей разделить поток автомобилей по составу (дополнительные полосы на подъемах, на пересечениях в одном уровне) и обеспечивающей оптимальную загрузку, при которой движение происходит с достаточно высокими скоростями;
- 3) повышением ровности покрытия и его сцепных качеств;
- 4) выбором средств регулирования, обеспечивающих рациональный режим движения;
- 5) снабжением водителей полной информацией об условиях движения по маршруту;
- 6) улучшением работы дорожно-эксплуатационной службы, особенно зимой;
- 7) реконструкцией дороги с целью повышения ее категории.

1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА АВТОМОБИЛЕЙ

На пропускную способность влияет большое число факторов, зависящих от технических параметров дороги и автомобилей. Поэтому для получения надежных данных о пропускной способности должны быть учтены показатели, характеризующие взаимодействие между автомобилями в потоке в различных дорожных условиях.

Транспортные потоки характеризуются: интенсивностью, составом, скоростью, интервалами между автомобилями, плотностью потока. Вследствие взаимодействия автомобилей в потоке все эти характеристики функционально связаны друг с другом.

1.1 Интенсивность движения

При использовании данных, основывающихся на учете часовой интенсивности движения в различные периоды года, обоснования мероприятий по организации движения, оценки уровня удобства движения, инженерных мероприятий по повышению безопасности движения и пропускной способности, за расчетную принимают часовую интенсивность движения.

Расчетная часовая интенсивность движения определяется по формуле

$$N_{ч} = 0,076N_{с}, \quad (1.1)$$

где $N_{с}$ – среднегодовая суточная интенсивность движения в обоих направлениях, авт./сут.

Разрабатывая мероприятия, повышающие пропускную способность отдельных элементов дорог с ярко выраженным различием условий движения по направлениям (например, подъемы, пересечения в одном уровне и т. д.),

необходимо учитывать эту неравномерность. Коэффициент неравномерности распределения интенсивности движения по направлениям в среднем можно принять равным 0,6. Тогда расчетная часовая интенсивность движения:

$$\begin{aligned} \text{в одном направлении} & N_{ч} = 0,046\sqrt{N_c}; \\ \text{в другом направлении} & N_{ч} = 0,030\sqrt{N_c}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

При обосновании оптимальной загрузки дороги и планировании стадийных мероприятий, повышающих пропускную способность, необходимо устанавливать не только интенсивность движения на начальный и конечный годы перспективного периода, но и динамику ее изменения по годам по отношению к начальному году.

Перспективная интенсивность движения прогнозируется исходя из анализа материалов экономических изысканий, данных учета за последние 10–15 лет и народнохозяйственного значения района проложения дороги. При определении перспективной интенсивности движения можно использовать следующие закономерности изменения интенсивности движения: а) по закону прямой с постоянным коэффициентом прироста; б) по геометрической прогрессии с постоянными темпами роста в течение расчетного периода; в) по геометрической прогрессии с убывающими темпами роста.

При изменении интенсивности по годам по закону прямой интенсивность t -го года определяется по формуле

$$N_t = N_0(1 + \beta t), \quad (1.3)$$

где N_t – перспективная интенсивность движения, авт/сут;

N_0 – начальная интенсивность движения, авт/сут;

β – коэффициент ежегодного прироста интенсивности движения;

t – период определения перспективной интенсивности движения;

При изменении интенсивности по закону геометрической прогрессии интенсивность t -го года

$$N_t = N_0(1 + \beta)^{t-1}; \quad (1.4)$$

Уравнения (1.3) и (1.4) целесообразно применять при расчете интенсивности на дорогах IV и V категории. На дорогах II категории по этим формулам следует осуществлять краткосрочный прогноз интенсивности для целей организации движения на период до 5 лет.

При загрузке дороги движением свыше 0,5 от размера пропускной способности для прогнозов интенсивности следует применять закономерность с убывающими темпами роста

$$N_t = N_0 \left[1 + 0,01 \left(K_1 t + K_2 \sum_{i=1}^n t_i^{-\frac{1}{3}} \right) \right], \quad (1.5)$$

где K_1 и K_2 – эмпирические коэффициенты, зависящие от первоначального прироста интенсивности движения (см. таблицу 1.1).

Т а б л и ц а 1.1 – Значения эмпирических коэффициентов

Значения коэффициентов	Первоначальный прирост интенсивности движения, %					
	10	12	14	16	18	20
K_1	3,7	3,1	2,5	1,9	1,3	0,7
K_2	6,3	8,9	11,5	14,1	16,7	19,3

1.2 Состав движения

Состав движения существенно влияет на пропускную способность и выбор мероприятий по повышению пропускной способности. Его необходимо учитывать при всех расчетах, связанных с оценкой уровней удобства и пропускной способности. Состав движения на дороге определяют на основе непосредственного учета движения, анализа народнохозяйственного значения района проложения дороги и перспектив его развития, анализа парка автопредприятий, расположенных в зоне влияния дороги.

Для технико-экономических расчетов, связанных с определением оптимальной загрузки дорог, необходима детализация состава движения по моделям автомобилей с учетом их грузоподъемности.

1.3 Скорость движения

Следует различать скорости движения: расчетную, мгновенную (на определенном участке дороги), эксплуатационную и техническую.

Расчетная скорость – максимальная безопасная скорость одиночных легковых автомобилей, обеспечиваемая дорогой при хорошей видимости, на ровном и шероховатом покрытии, в сухую погоду. На эту скорость рассчитываются все геометрические элементы при разработке проекта.

Мгновенная скорость – наблюдаемая в конкретном створе дороги. Различают мгновенные скорости 15, 50 и 85% обеспеченности. Скорость 15% обеспеченности показывает скорость медленно движущихся автомобилей. Скорость 50% обеспеченности соответствует средней мгновенной скорости всех автомобилей в транспортном потоке. Скорость 85% обеспеченности показывает скорость, которую не превышает основная часть потока автомобилей. Эта скорость обычно используется при выборе средств организации движения и введении ограничения скоростей.

Эксплуатационная скорость (скорость сообщения) – средняя на рассматриваемом маршруте или участке дороги с учетом задержек, получаемая делением пути на продолжительность проезда (время сообщения).

Техническая скорость – средняя на рассматриваемом маршруте или участке дороги без учета задержек и остановок в пути.

1.4 Мероприятия по повышению пропускной способности дорог

Пропускная способность отдельных участков дорог неодинакова, особенно на дорогах III и IV категорий. Это обусловлено использованием при строительстве заниженных нормативов с целью удешевления строительства. В результате на таких участках часто возникают заторы. Поэтому первоначально предусматривается комплекс мероприятий по устранению мест, вызывающих снижение пропускной способности, а затем – мероприятий по увеличению пропускной способности на всем протяжении дороги.

Таким образом, мероприятия по увеличению пропускной способности можно разделить на два вида:

- мероприятия, необходимые для обеспечения постоянства величины пропускной способности на всем протяжении дороги (таблица 1.2);
- мероприятия для повышения пропускной способности в целом (таблица 1.3).

Таблица 1.2 – Мероприятия по выравниванию пропускной способности

Отношение пропускной способности данного участка к типичной для дороги	Работы по улучшению
0,9 – 1,0	Выборочное улучшение видимости. Устройство виражей и уширений проезжей части на кривых
0,75 – 0,9	Уширение узких мостов, укрепление обочин. Устройство срезок видимости и увеличение радиусов кривых в плане и профиле.
0,5 – 0,75	Уширение узких мостов, укрепление обочин. Устройство срезок видимости и увеличение радиусов кривых в плане и профиле. Устройство канализированных пересечений и дополнительных полос на подъемах.
0,3 – 0,5	Перетрассировка участка со спрямлением трассы и увеличение радиусов.

Таблица 1.3 – Мероприятия по повышению пропускной способности в целом по дороге

Отношение фактической интенсивности движения к типичной пропускной способности	Возможные мероприятия
< 0,3	Нанесение разметки, устройство краевых полос
0,3 – 0,5	Укрепление обочин. Выборочное увеличение видимости в местах, где это необходимо для обеспечения возможности обгонов.
0,5 – 0,75	Перестройка наиболее загруженных пересечений в одном уровне с заменой на кольцевые и канализированные. Устройство дополнительных полос на подъемах.
0,75 – 0,9	Перестройка наиболее загруженных пересечений в одном уровне с заменой на кольцевые и канализированные. Устройство дополнительных полос на подъемах. Уширение проезжей части с доведением ширины полосы движения до 3,75 м.

Окончание таблицы 1.3

Отношение фактической интенсивности движения к типичной пропускной способности	Возможные мероприятия
0,9 – 1,0	Снятие части движения на параллельную дорогу или перестройка существующей под более высокую категорию.

Анализ таблиц 1.2 и 1.3 показывает, что наиболее эффективным мероприятием по повышению пропускной способности является реконструкция автомобильной дороги.

Особый случай – это проектировании автомобильных дорог на подходах к крупным городам, ориентированных на пропуск транспортных потоков высокой интенсивности. Когда по автомобильным дорогам, связывающим крупные города, в течение всех суток сохраняется движение транспортных потоков, интенсивность которых близка или равна пропускной способности дороги, главной задачей становится ликвидация заторов движения за счет принятия комплекса мер, направленных на повышение пропускной способ-

ности дороги. При решении этой задачи следует принимать во внимание специфику транспортных потоков на этих участках автомобильной дорог, характеризующуюся сезонной, недельной и суточной неравномерностью, наличием транзитных, местных потоков и маятникового движения, а также высокой плотности пересекаемых местных автомобильных дорог.

С целью повышения пропускной способности участков дорог на подходах к крупным городам следует предусматривать мероприятия, направленные на увеличение пропускной способности проектируемой автомобильной дороги, которые включают в себя:

- мероприятия по совершенствованию проектных решений, позволяющих повысить пропускную способность дороги;
- организационные мероприятия, направленные на повышение пропускной способности за счет мер по регулированию дорожного движения.

2 ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПО СТЕПЕНИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Для оценки степени обеспечения безопасности движения по существующей автомобильной дороге используют два метода: коэффициентов аварийности и коэффициентов безопасности.

2.1 Метод коэффициентов аварийности

Данный метод основан на обобщении материалов статистики дорожно-транспортных происшествий. Этот метод дает возможность анализа принятых проектных решений и изменения этих решений при реконструкции существующих дорог. Степень опасности участков дороги характеризуют *итоговым коэффициентом аварийности*

$$K_{\text{итог}} = K_1 K_2 K_3 \dots K_n, \quad (2.1)$$

где $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ – частные коэффициенты аварийности.

Частные коэффициенты аварийности представляют собой отношение количества дорожно-транспортных происшествий при тех или иных дорожных условиях к количеству происшествий на эталонном горизонтальном участке дороги с проезжей частью шириной 7,5 м, шероховатым покрытием и укрепленными обочинами. Чем больше итоговый коэффициент аварийности на данном участке дороги, тем больше можно ожидать на нем дорожно-транспортных происшествий.

Значения частных коэффициентов аварийности были определены по отечественным и зарубежным опытным данным и в зависимости от различных параметров дороги приведены в таблице 2.1.

Для выявления опасных участков строят линейный график итоговых коэффициентов аварийности (рисунок 2.1). На график наносят сокращенный план и продольный профиль с выделением всех элементов, от которых зависит безопасность движения и для которых имеются частные коэффициенты. Рассчитывают частные коэффициенты аварийности и определяют границы действия этих коэффициентов по длине дороги. Путем умножения частных коэффициентов по вертикали для каждого участка дороги получают значения итогового коэффициента аварийности. Участки дорог, на которых итоговый коэффициент аварийности более 40 единиц, подлежат реконструкции в первую очередь.

2.2 Метод коэффициентов безопасности

Коэффициентом безопасности является отношение максимальной скорости движения на участке к максимальной скорости въезда автомобилей на этот участок (начальная скорость движения).

Для определения коэффициентов безопасности при построении теоретического графика скоростей движения по дороге в обычную методику расчета скоростей вносят изменения, направленные на учет опасных ситуаций:

- при реконструкции дорог не принимают во внимание общие ограничения скорости движения, рекомендуемые правилами дорожного движения, и местные ограничения скорости (в населенных пунктах, на переездах железных дорог, на пересечениях с другими дорогами, на кривых малых радиусов, в зонах действия дорожных знаков и др.);
- в случае резкого различия условий движения по дороге в разных направлениях (например, на затяжных подъемах горных дорог) график коэффициентов безопасности можно строить только для того направления, в котором может быть развита наибольшая скорость;

Т а б л и ц а 2.1 – Значения частных коэффициентов аварийности

Параметры дороги	Значения параметров дороги и частных коэффициентов аварийности					
Интенсивность движения, авт/сут. K_1	500 0,40	1000 0,50	3000 0,75	5000 1,00	7000 1,30	Более 9000 1,70
Ширина проезжей части, м K_2 (при укрепленных обочинах) K_2 (при неукрепленных обочинах)	4,5 2,2 4,0	5,5 1,5 2,75	6,0 1,35 2,5	7,5 1,0 1,5	8,5 и более 0,8 1,0	
Ширина обочины, м K_3	0,5 2,2	1,5 1,4	2,0 1,2	3,0 и более 1,0		
Продольный уклон, % K_4 (с разделительной полосой) K_4 (без разделительной полосы)	20 1,0 1,0	30 1,0 1,25	50 1,25 2,5	70 1,4 2,8	80 1,5 3,0	
Радиусы кривых в плане, м K_5	≤ 50 10,0	100–150 5,4–4,0	200–300 2,25	400–600 1,6	1000–2000 1,25	> 2000 1,0
Видимость дороги, м K_6 в плане K_6 в продольном профиле	100 3,0 4,0	200 2,25 2,5	300 1,7 2,0	400 1,2 1,4	> 500 1,0 1,0	
Ширина проезжей части мостов по отношению к проез-	Меньше на 1 м	Равны 3,0	Шире на 1 м 1,5	Шире на 2 м 1,0		

жей части дороги K_7	6,0					
Длина прямых участков, км K_8	3 1,0	5 1,1	10 1,4	15 1,6	20 1,9	25 2,0
Пересечения в одном уровне при интенсивности движения по главной дороге, авт/сут K_9	1000 1,5		1600–3500 2,0	3500–5000 3,0	5000–7000 4,0	

Окончание таблицы 2.1

Тип пересечения K_{10}	В разных уровнях 0,35	K_{10} 0,70	В одном уровне при интенсивности движения по пересекаемой дороге, % от суммарной на двух дорогах		
			≤ 10 1,5	10–20 3,0	≥ 20 4,0
Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой, м K_{11}	> 60 1,0	60–40 1,1	40–30 1,65	30–20 2,5	< 20 10
Число полос движения K_{12}	2 1,0	3 1,5	4 Без разделительной полосы 0,8	4 С разделительной полосой 0,65	
Расстояние от застройки до проезжей части и ее характер	50–20	20–10	10		
	Имеются полосы мест-		Полосы местного движения отсутствуют		

ристика, м K_{13}	ного движения и тротуары		Тротуары есть		Тротуары отсутствуют	
	2,5	5,0	7,5		10	
Характеристика покрытия и коэффициент сцепления K_{14}	Скользкое		Чистое сухое	Шероховатое	Очень шероховатое	
	грязное	чистое				
	0,2–0,3 2,5	0,4 2,0	0,6 1,3	0,7 1,0	0,75 0,75	
Протяженность населенного пункта, км K_{15}	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	> 5,0
	1,0	1,2	1,7	2,2	2,7	3,0
Длина участка на подходах к населенным пунктам, м K_{16}	0–200		200–600		600–1000	
	2,0		1,5		1,2	
Ширина разделительной полосы, м K_{17}	1	2	3	5	10	15
	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,4

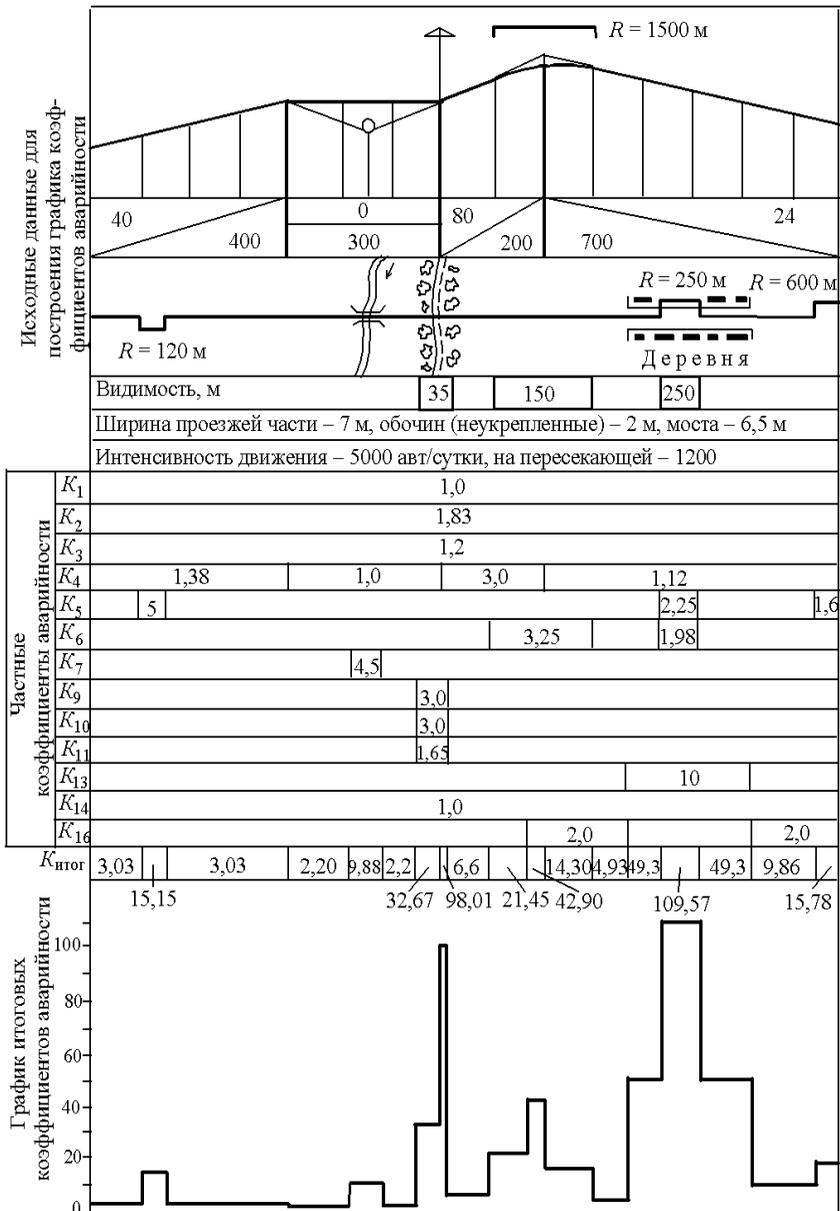


Рисунок 2.1 – График итоговых коэффициентов аварийности

- не учитываются участки постепенного снижения скорости, необходимые для безопасного въезда на кривые малых радиусов, на пересечения, узкие мосты, т.е. берется соотношение скорости, обеспечиваемой данным участком, и максимально возможной скорости в конце предшествующего участка.

Для построения графика коэффициентов безопасности (рисунок 2.2) в конце каждого участка определяют максимальную скорость, которую можно развить без учета условий движения на последующих участках.

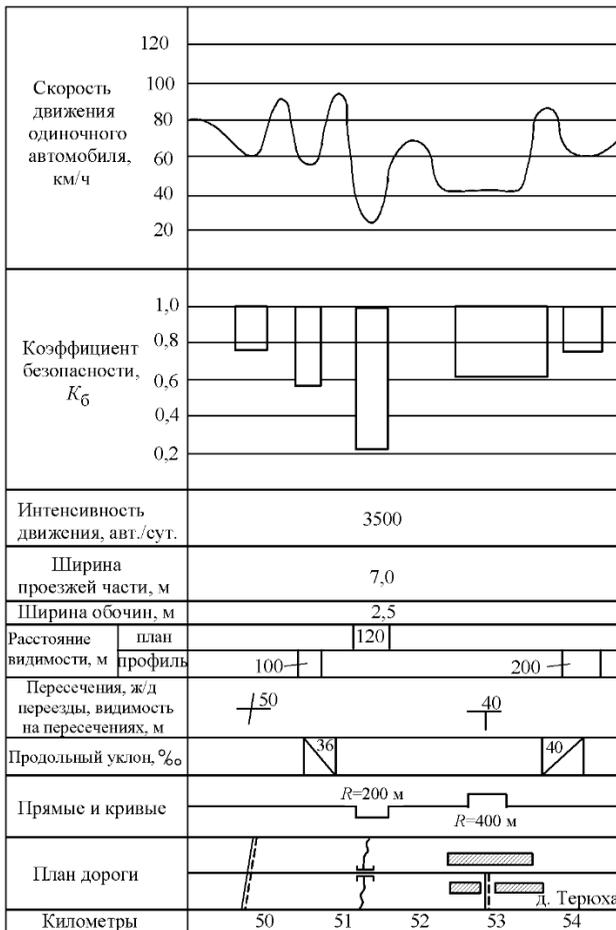


Рисунок 2.2 – Линейный график скоростей движения одиночных автомобилей и график коэффициентов безопасности

Участки по опасности для движения оценивают исходя из значений коэффициента безопасности. В проектах новых дорог недопустимы участки с коэффициентами безопасности, меньшими 0,8. В проектах реконструкции и капитального ремонта допустимые значения коэффициента безопасности принимаются по таблице 2.2.

Метод коэффициентов безопасности учитывает движение одиночного автомобиля, что характерно для условий движения на дорогах с малой интенсивностью или часов спада движения на более загруженных дорогах. Это не препятствует его использованию для дорог всех типов, поскольку при высокой интенсивности движения обгоны практически исключаются, а расчет для одиночного автомобиля направлен на повышение безопасности.

Т а б л и ц а 2.2 – Значения коэффициентов безопасности при реконструкции и капитальном ремонте

Степень опасности участка дороги	При отрицательных ускорениях, м/с ²	
	0,5–1,5	1,5–2,5
Начальная скорость движения 60–80 км/ч		
Неопасный	Более 0,6	Более 0,65
Опасный	0,45–0,6	0,55–0,65
Очень опасный	Менее 0,45	Менее 0,5
Начальная скорость движения 85–100 км/ч		
Неопасный	Более 0,7	Более 0,75
Опасный	0,55–0,7	0,6–0,75
Очень опасный	Менее 0,55	Менее 0,6
Начальная скорость движения 105–120 км/ч		
Неопасный	Более 0,8	Более 0,85
Опасный	0,65–0,8	0,7–0,85
Очень опасный	Менее 0,65	Менее 0,7

Наиболее эффективным мероприятием повышения пропускной способности и безопасности дорожного движения является реконструкция автомобильной дороги.

Реконструкция дороги предусматривает перевод ее в более высокую техническую категорию и производится в том случае, когда состояние существующей дороги не удовлетворяет требованиям возросшего движения. Разработка проекта реконструкции направлена на повышение скоростей движения автомобилей, что в свою очередь позволит повысить пропускную способность и безопасности движения.

В проектах реконструкции дороги предусматривают:

- улучшение плана и профиля – спрямление извилистых участков, увеличение радиусов горизонтальных и вертикальных кривых, устройство виражей, уширений и переходных кривых, смягчение крутых продольных уклонов, обеспечение видимости, постройку дополнительных полос проезжей части для движения на подъём грузовых автомобилей и автопоездов;
- устройство пересечений в разных уровнях с железными и автомобильными дорогами и улучшение конструкции пересечений в одном уровне путем постройки дополнительных полос движения и направляющих островков;
- строительство обходов населенных пунктов;
- уширение земляного полотна и проезжей части;
- усиление дорожной одежды;
- перестройку земляного полотна для повышения его устойчивости, особенно в местах, подверженных пучинообразованию, на болотах, в районах распространения оврагов и т. д.;
- перестройку искусственных сооружений в соответствии с новыми габаритами и нагрузками;
- строительство линейных зданий, станций обслуживания, пунктов технической помощи, бензозаправочных станций, гостиниц, кемпингов, автобусных остановок, площадок отдыха и т. д.;
- декоративное и снегозащитное озеленение и архитектурное оформление дороги.

Для обоснования необходимости реконструкции дороги определяют перспективную интенсивность движения с учетом его ежегодного прироста (см. п. 1.1).

3 РЕКОНСТРУКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

3.1 Реконструкция плана автомобильной дороги

Реконструкция дорог в плане может быть вызвана следующими причинами:

- необоснованная извилистость трассы;
- необеспеченность зрительной ясности направления дороги для водителей;
- недостаточные радиусы кривых в плане;
- необходимость обхода населенных пунктов;
- улучшение пересечений водотоков, других дорог и т. д.

Ликвидация **необоснованной извилистости** зависит от категории дороги: *I* – строится новая дорога без совмещения с существующей трассой; *II* – трасса частично может совмещаться с существующей при отсутствии резких отклонений элементов плана и профиля от требований ТКП [1]; *остальные* – трасса совмещается с существующей без ограничений.

Обеспечение зрительной ясности направления дороги для водителей связано с соблюдением принципа зрительного ориентирования. Этот принцип создает у водителя подсознательную уверенность в дальнейшем направлении движения за пределами видимости. При реконструкции дорог места, где возникают ошибки водителей в дальнейшем направлении движения, должны быть исправлены.

3.1.1 Увеличение радиусов кривых

Увеличение радиусов кривых в плане предусматривают в следующих случаях:

- резкое ухудшение транспортно-эксплуатационных качеств дороги;
- повышенная аварийность;
- отсутствие четкости движения.

Основными причинами повышенной аварийности на участках дорог с кривыми в плане малых радиусов являются: увеличение значения поперечной силы, действующей на автомобиль; уменьшение расстояния видимости; усложнение условий управления автомобилем. Для обеспечения безопасности движения на кривых в плане малого радиуса могут быть применены следующие мероприятия:

- перестройка кривых с увеличением их радиуса;
- устройство виражей и переходных кривых;
- увеличение расстояния видимости путем устройства срезок видимости;
- устройство разделительных откосов на участках с необеспеченной видимостью;
- ограничение скоростей движения и обгонов;
- оборудование участка дороги предупреждающими дорожными знаками;
- установка направляющих устройств и ограждений;
- устройство шероховатых дорожных покрытий.

Расчеты по увеличению радиуса кривой производят в указанной ниже последовательности.

На основании исходных данных, которыми являются сторонность и угол поворота (α), радиус (R_c), длина (K_c) и тангенс (T_c) существующей кривой, пикетажное положение кривой (пк НКК_c, пк ККК_c), а также радиус проектируемой кривой ($R_{пр}$), строится расчетная схема (рисунок 3.1).

В соответствии с расчетной схемой определяются: длина проектируемой кривой ($K_{пр}$), тангенс проектируемой кривой ($T_{пр}$), разность тангенсов (ΔT), изменение длины линии (ΔL), «резаный» пикет и пикетажное положение проектируемой кривой, а также нормали (n), т.е. смещения оси существующей дороги.

Указанные элементы определяются на основании следующих формул:

- длина проектируемой кривой –

$$K_{\text{пр}} = R_{\text{пр}}\alpha_{\text{рад}}; \quad (3.1)$$

- тангенс проектируемой кривой –

$$T_{\text{пр}} = R_{\text{пр}}\text{tg}(\alpha/2); \quad (3.2)$$

- разность тангенсов –

$$\Delta T = T_{\text{пр}} - T_{\text{с}}; \quad (3.3)$$

- изменение длины линии –

$$\Delta L = 2\Delta T + K_{\text{с}} - K_{\text{пр}}; \quad (3.4)$$

- «резаный» пикет –

$$100 - \Delta L;$$

- начало и конец проектируемой круговой кривой –

$$\text{пк НКК}_{\text{пр}} = \text{пк НКК}_{\text{с}} - \Delta T; \quad (3.5)$$

$$\text{пк ККК}_{\text{пр}} = \text{пк ККК}_{\text{с}} + \Delta T. \quad (3.6)$$

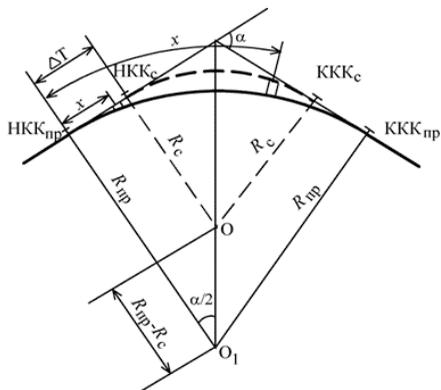


Рисунок 3.1 – Расчетная схема

Определение нормалей (n), т. е. смещений оси существующего пути, можно производить с построением угловой диаграммы. Угловая диаграмма – это зависимость угла поворота кривой от ее длины: $K = f(\alpha_{\text{рад}})$ [13].

Для определения нормалей по этому способу строятся профильная схема и совмещенная угловая диаграмма (рисунок 3.2).

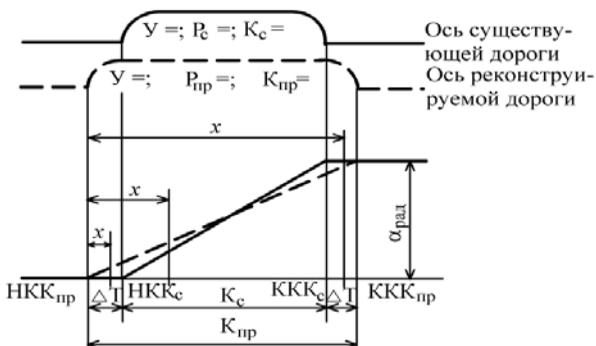


Рисунок 3.2 – Профильная схема и совмещенная угловая диаграмма

В соответствии с рисунком 3.2 определение нормалей в характерных точках (на каждой «двадцатке») производится по формулам:

- на участке от НКК_{пр} до НКК_с –

$$n = x^2 / (2 R_{\text{пр}}); \quad (3.7)$$

- на участке от НКК_с до ККК_с –

$$n = x^2 / (2 R_{\text{пр}}) - (x - \Delta T)^2 / (2 R_c); \quad (3.8)$$

- на участке от ККК_с до ККК_{пр} –

$$n = x^2 / (2 R_{\text{пр}}) - K_c^2 / (2 R_c) - (x - \Delta T - K_c) \alpha_{\text{рад}}, \quad (3.9)$$

где x – расстояние от начала круговой кривой проектируемой (НКК_{пр}) до рассматриваемого сечения.

В расчетах величине x – расстоянию от начала проектируемой кривой до точки на существующей дороге, для которой определяется величина нормали, – последовательно придается нарастающее значение с выбранным шагом (обычно 20 метров).

В качестве **примера** произведем увеличение радиуса кривой для исходных данных, приведенных в приложении А (таблица А.2), в соответствии с ко-

торыми радиус первой кривой на участке пк 19 + 22,25 – пк 22 + 19,67 не соответствует нормативным требованиям [1], поэтому произведем увеличение радиуса с 360 до 700 м в соответствии с нормативными требованиями.

Исходные данные: кривая – лево; $\alpha = 43^\circ$; $R_c = 360$ м; $K_c = 270,18$ м; $T_c = 141,81$ м; пк НКК_c – пк 19 + 22,25; пк ККК_c – пк 22 + 19,67. Требуется увеличить радиус до 700 м, т. е. $R_{пр} = 700$ м.

По формулам (3.1)–(3.6) определяем элементы проектируемой круговой кривой, величину «резаного» пикета и положение кривой в пикетаже:

$$K_{пр} = R_{пр}\alpha_{рад} = 700 \cdot 0,75049 = 525,34 \text{ м};$$

$$T_{пр} = R_{пр}\text{tg}(\alpha / 2) = 700 \cdot 0,393910 = 275,74 \text{ м};$$

$$\Delta T = T_{пр} - T_c = 275,74 - 141,81 = 133,93 \text{ м};$$

$$\Delta L = 2\Delta T + K_c - K_{пр} = 2 \cdot 133,93 + 270,18 - 525,34 = 12,7 \text{ м};$$

«резаный» пикет – 87,3 м;

$$\text{пк НКК}_{пр} = \text{пк НКК}_c - \Delta T = (\text{пк } 19 + 22,25) - 133,93 = \text{пк } 17 + 88,32;$$

$$\text{пк ККК}_{пр} = \text{пк ККК}_c + \Delta T = (\text{пк } 22 + 06,05) + 133,93 = \text{пк } 23 + 39,98.$$

Подсчет нормалей произведем в табличной форме (таблица 3.1).

Т а б л и ц а 3.1 – Результаты расчетов

Пикетаж		Расстояние x, м	Расчетная формула	Величина нормали n, м
пк	+			
18	00	11,68	$n = x^2/(2R_{пр})$	0,10
	20	31,68		0,72
	40	51,68		1,91

Окончание таблицы 3.1

Пикетаж		Расстояние x, м	Расчетная формула	Величина нормали n, м
пк	+			
	60	71,68	$n = x^2/(2R_{пр})$	3,67
	80	91,68		6,00
19	00	111,68		8,91
	20	131,68		12,27
	60	171,68		19,07

	80	191,68	$n = [x^2 / (2R_{пр})] - (x - \Delta T)^2 / (2R_c)$	21,61
20	00	211,68		23,59
	20	231,68		25,07
	40	251,68		25,98
	60	271,68		26,37
	80	291,68		26,21
21	00	311,68		25,51
	20	331,68		24,27
	40	351,68		22,49
	60	371,68		20,17
	80	391,68	17,31	
22	00	411,68	$n = x^2 / (2R_{пр}) - K_c^2 / (2R_c) - (x - \Delta T - K_c)\alpha_{рад}$	13,91
	20	431,68		11,04
	40	451,68		8,64
	60	471,68		6,83
	80	491,68		4,10
23	00	511,68		2,14
	20	531,68	0,92	

Кроме увеличения радиуса кривой предусматриваем устройство переходных кривых длиной 160 м и выража с уклоном $i_b = 40 \%$ [1].

3.1.2 Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых

Так как при реконструкции участка автомобильной дороги предусмотрены мероприятия по изменению параметров существующих закруглений в местах изменения направления трассы, то для получения необходимых проектных величин требуется составление ведомости углов поворота, прямых и кривых для существующей и реконструируемой трасс. **Порядок заполнения ведомости:**

- определяют пикетажное положение вершин углов поворота по формуле

$$пк ВУП = пок НКК_c + T_c, \quad (3.10)$$

где T_c – тангенс существующей круговой кривой, м;

- для реконструируемой трассы в зависимости от радиуса круговой кривой по [1] подбирают длину переходной кривой L и ее параметры: угол поворота 2β , добавочный тангенс t и сдвигку p ;

- определяют длину сокращенной круговой кривой:

$$K_0 = R \frac{\pi(\alpha - 2\beta)^{\circ}}{180^{\circ}}; \quad (3.11)$$

- определяют начало (НЗ) и конец (КЗ) закругления по формулам:

- *при отсутствии переходных кривых* (существующая трасса) –

$$\text{пк НЗ} = \text{пк НКК}_c; \quad (3.12)$$

$$\text{пк КЗ} = \text{пк НКК}_c + K_c; \quad (3.13)$$

- *при наличии переходных кривых* (реконструируемая трасса) –

$$\text{пк НЗ} = \text{пк ВУ} - (T + t); \quad (3.14)$$

$$\text{пк КЗ} = \text{пк НЗ} + 2L + K_0 + \Delta D, \quad (3.15)$$

где ΔD – разница в длине домеров по реконструируемой и существующей трассам, м;

- определяют длину прямолинейных участков:

$$\Pi = \text{пк НЗ}_n - \text{пк КЗ}_{n-1}. \quad (3.16)$$

Правильность составления ведомости контролируется следующими проверками:

по существующей трассе –

$$\sum K + \sum L + \sum \Pi = L_{\text{тр}}; \quad (3.17)$$

$$\sum S - \sum D = L_{\text{тр}}, \quad (3.18)$$

по реконструируемой трассе –

$$\sum K_0 + \sum L + \sum \Pi + \sum \Delta D = L_{\text{тр}}; \quad (3.19)$$

$$\sum S - \sum D + \sum \Delta D = L_{\text{тр}}, \quad (3.20)$$

где $\sum K_0$ (K) – суммарная длина сокращенных (при устройстве переходной кривой) или полных круговых (при отсутствии переходных кривых) кривых, м;

$\sum L$ – суммарная длина переходных кривых, м;

$\sum \Pi$ – суммарная длина прямолинейных участков трассы, м;

$\sum S$ – суммарное расстояние между вершинами углов поворота трассы, м;

$\sum D$ – сумма домеров в кривых, м;

$\sum \Delta D$ – суммарная разница в длине домеров по существующей и реконструируемой трассам;

$L_{\text{тр}}$ – длина трассы, м.

Для исходных данных, приведенных в приложении А (см. таблицу А.2) в таблице 3.2 приведена ведомость углов поворота, прямых и кривых для существующей и реконструируемой трасс.

На основании составленной ведомости производим проверки по формулам (3.17) и (3.20):

по существующей трассе (переходные кривые отсутствуют) –

$$\sum K + \sum \Pi = 917,7 + 2082,3 = 3000 \text{ м}; 3000 \text{ м} = 3000 \text{ м};$$

$$\sum S - \sum Д = 3063,94 - 63,94 = 3000 \text{ м}; 3000 \text{ м} = 3000 \text{ м};$$

по реконструируемой трассе –

$$\sum K_0 + \sum L + \sum \Pi + \sum \Delta Д = 852,77 + 640 + 1494,53 + 12,70 = 3000 \text{ м};$$

$$3000 \text{ м} = 3000 \text{ м};$$

$$\sum S - \sum Д + \sum \Delta Д = 3063,94 - 76,64 + 12,70 = 3000 \text{ м}; 3000 \text{ м} = 3000 \text{ м}.$$

Так как проверки выполнены, то ведомость составлена правильно.

На основании составленной ведомости углов поворота, прямых и кривых вычерчивают план существующей и реконструируемой автомобильных дорог в масштабе 1 : 10 000 (рисунок 3.3). На плане показывают условными знаками водопропускные сооружения, пересечения и примыкания, а также их пикетажное положение. На свободном поле размещают схемы закрепления точек трассы и ведомость, если она не приводится в пояснительной записке.

Обходы населенных пунктов необходимы в том случае, если дорога, проходящая через населенный пункт, вызывает ряд неудобств. Поэтому желательно трассу дороги выносить за черту города, устраивая обходные дороги.

3.1.3 Улучшение пересечений водотоков

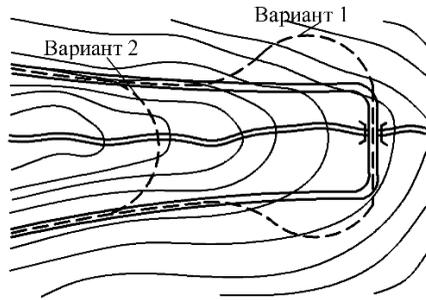
Неудобные для современного автомобильного движения пересечения малых водотоков обычно бывают вызваны одной из следующих причин:

- стремлением при строительстве пересечь русло водотока строго перпендикулярно к направлению течения;
- желанием сократить длину моста или объем работ на переходе.

Метод трассирования переходов, основанный на этих причинах, вызывал необходимость устройства в непосредственной близости от мостов крутых поворотов трассы, описанных малыми радиусами и опасных для движения. Особенно неблагоприятные условия создаются на горных дорогах при длинных ходах или при проложении дороги вдоль берега моря с заходами в боковые долины.

Улучшение условий проезда обычно бывает связано с врезкой дороги в косогор или с постройкой моста на кривой со смещением к устью долины (рисунок 3.4). При этом существенно увеличивается высота сооружения и насыпей на подходах к нему. Если построенные на дороге сооружения полностью удовлетворяют по габаритам и грузоподъемности перспективным требованиям движения, реконструкция дороги вынуждена ограничиваться увеличением радиусов кривых на подходах. Желательно, чтобы радиус кривых на подходах к искусственным сооружениям был не менее 250 м.

Рисунок 3.4 – Способы улучшения пересечений водотоков при развитии трассы горных дорог с заходом в боковые долины

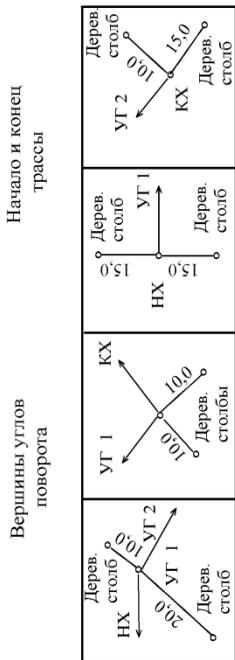


Т а б л и ц а 3.2 – В е д о м о с т ь у г л о в п о в о р о т а , к р и в ы х и п р я м ы х

Углы				Кривые								Главные точки закругления								Прямые			
поло- же- ние ВУ		α°		элементы круговой кривой				элементы пере- ходных кривых и изменен- ной круговой кривой				НЗ		НКК		ККК		КЗ		рас- сто- яни- я ме- жд- у ВУ S, м	дли- на пря- мы- х П, м		
п к	+	л е в о	п р а в о	R, м	T, м	K, м	Д, м	L, м	2 β	t, м	p, м	K ₀	п к	+	п к	+	п к	+	п к			+	
С у щ е с т в у ю щ а я т р а с с а																							
1	0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564	422	
5	0																				,06	,25	
2	6		4	3	14	27	1	-	-	-	-	-	1	2	1	2	2	2	92,	2	9	-	-
0	,0		3	6	1,	0,	3,	-	-	-	-	-	9	2,	9	,2	1	43	1	2,	4		
	6			0	81	18	4						5	5	5	5					3	3	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	153	104	
																					4,3	3,5	
																					9	7	
3	8	5		7	34	64	5	-	-	-	-	-	3	3	3	3	3	83,	3	8	-	-	
5	,5	3		0	9,	7,	0,	-	-	-	-	-	2	6,	2	6	8	52	8	3,			
				0	01	52	5						0	0	0	0	0				5		

	0					0							0		0			2		
4	0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	965	616
5	0																		,49	,48
Реконструируемая трасса																				
1	0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564	208
5	0																		,06	,35
2	6		4	7	27	52	2	1	1	7	1	36	1	08	1	6	2	46,	2	0
0	,0		3	0	5,	5,	6,	6	3	,9	,5	5,	7	,3	8	2	46,	2	6,	6
	6			0	74	34	1	0	6	,7	2	30	5	5	,3	2	35	4	3	5
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	153	749
																			4,3	,68
3	8		5	7	34	64	5	1	1	7	1	48	3	56	3	1	3	03,	3	6
5	,0		3	0	9,	7,	0,	6	3	,9	,5	7,	1	,0	3	6	3	50,	3	3,
	1			0	01	52	5	0	0	6	2	47	3	3	,0	3	8	50	9	5
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	965	536
5	0																		,49	,50

СХЕМА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ТРАССЫ



ПЛАН ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

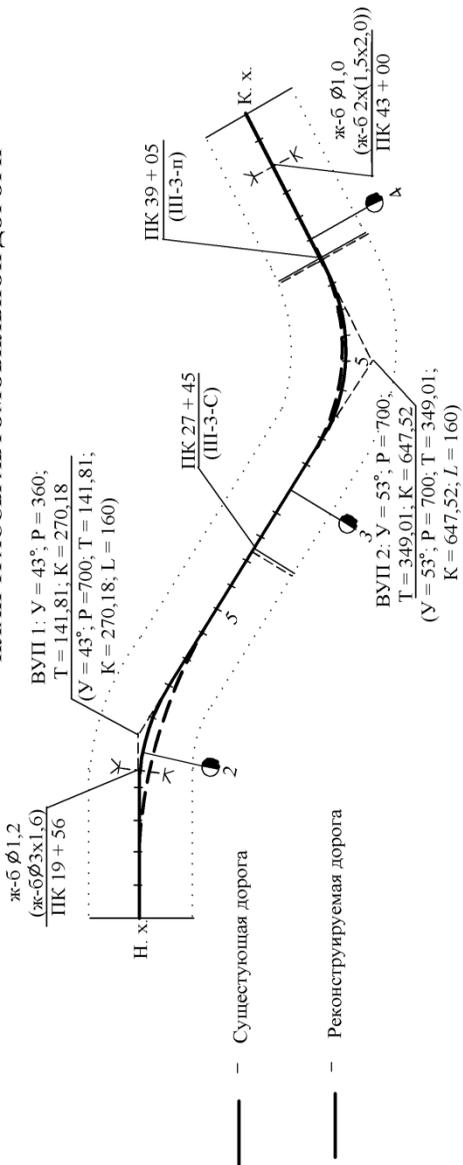


Рисунок 3.3 – План трассы существующей и реконструируемой дорог

Устройство косых мостов в настоящее время находит все более широкое распространение в связи с накопленным большим опытом строительства мостов через средние реки на одностолбчатых опорах, условия обтекания которых одинаковы при любом угле пересечения водотока.

При благоприятных условиях рельефа местности улучшение пересечения производят следующими способами:

- устройство «косого» моста (рисунок 3.5, а);
- расположение моста на кривой (рисунок 3.5, б);
- увеличение радиусов кривых в плане на подходах к мосту (рисунок 3.5, в);
- перенос мостового перехода (рисунок 3.5, г).

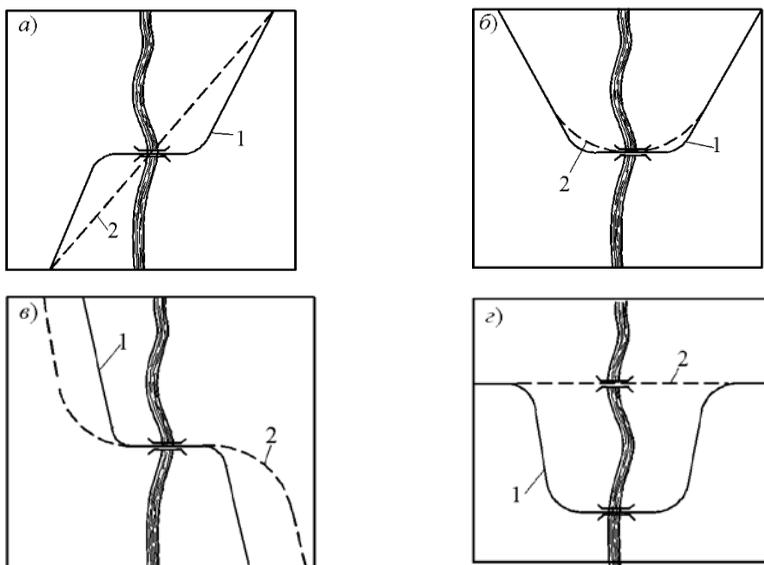


Рисунок 3.5 – Способы улучшения трассы на мостовых переходах:
 а – постройка косого моста; б – расположение моста на кривой; в – увеличение радиусов кривых на подходах; г – перенос места перехода;
 1 – существующая дорога; 2 – улучшенная трасса

При реконструкции дорог высших категорий мосты, расположенные на вогнутых вертикальных кривых, желательно проектировать соответствующими продольному профилю кривой. Горизонтальный мост на вогнутой кривой резко нарушает зрительную плавность продольного профиля дороги.

Для улучшения условий пересечения с другими дорогами при реконструкции предусматривают следующие мероприятия:

- упорядочение расположения пересечений или примыканий;

- переустройство простых пересечений в одном уровне в канализированные или кольцевые;
 - оптимальный угол пересечения назначают от 60 до 120°.
- Пересечения под более острыми углами желательно переустраивать по одному из следующих способов:
- перестройка в два примыкания (рисунок 3.6, а);
 - устройство двух извилин (рисунок 3.6, б);
 - устройство одной извилины (рисунок 3.6, в).

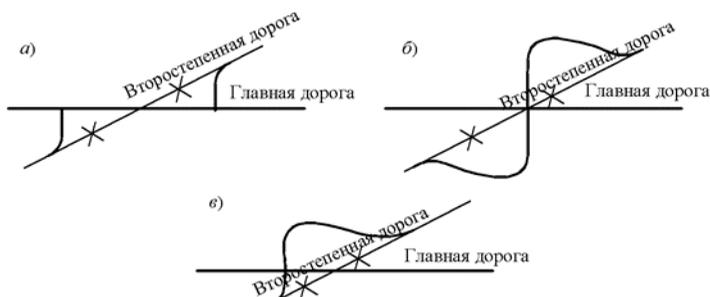


Рисунок 3.6 – Способы переустройства пересечений

3.2 Реконструкция водопропускных сооружений

Для обоснования необходимости реконструкции искусственных сооружений следует проверить достаточность отверстий существующих водопропускных сооружений. Для этого производят расчеты ливневого стока и стока от снеготаяния. В качестве расчетного принимают наибольший.

3.2.1 Определение расхода воды при ливневом стоке

Расход воды при ливневом стоке определяют по упрощенной формуле [7]

$$Q_{\text{л}} = \psi(h - z)^{3/2} F^{2/3} k \gamma \delta_6, \quad (3.21)$$

где ψ – геоморфологический коэффициент, зависящий от рельефа поверхности бассейна и уклона главного лога (таблица 3.3);

h – слой стока, мм, зависящий от ливневого района, категории почв на впитываемость, вероятности превышения расчетных расходов и времени водоотдачи (таблица 3.4);

z – потери слоя стока на смачивание растительности и заполнение впадин микрорельефа, мм (таблица 3.5);

F – площадь бассейна, км²;

k – коэффициент шероховатости лога и склонов (таблицы 3.6–3.8);

γ – коэффициент учета неравномерности выпадения дождя на бассейне (таблица 3.9);

δ_6 – коэффициент уменьшения расхода воды при наличии на бассейне озер и болот (таблица 3.10).

Характеристика растительности на бассейне, а также характеристика склонов и русла принимается самостоятельно на основании заданного района проектирования.

Т а б л и ц а 3.3 – Значения геоморфологического коэффициента ψ

Визуальная характеристика поверхности бассейна	Средний уклон главного лога I_n ‰	ψ
Плоская (болото)	1	0,013
	2	0,015
Равнинная	3	0,020
	4	0,022
	5	0,024
	6	0,026
	7	0,027
	8	0,028
	9	0,029
	10	0,030
	11	0,030
	12	0,031
Холмистая	13	0,031
	14	0,032
	15	0,032
	16	0,033
	17	0,033
	18	0,034
	19	0,034
	20	0,035

Т а б л и ц а 3.4 – Расчетные значения слоя стока h

В мил-

лиметрах

Номер ливневого района	Административно-территориальные области, относящиеся к данному ливневому району	Категория почвы по интенсивности впитывания	Вероятность превышения расходов, %	
			2	1
26	Центральные и западные районы Украины	II	22	27
		III	19	24
		IV	14	19
		V	0	3
3	Беларусь	II	37	42
		III	34	39
		IV	29	34
		V	11	16
5а	Литва	II	32	38
		III	29	35
		IV	24	30
		V	0	18

Примечание – По интенсивности впитывания почвы делятся на пять категорий: I – многолетнемерзлые грунты; II – глины, тироглинистые почвы, такыры и такыровые почвы; III – суглинки, подзолы, подзолистые и серые лесные суглинки, тучные и суглинистые черноземы, тундровые и болотные почвы; IV – черноземы, каштановые почвы, лесс, карбонатные почвы; V – супеси, пустынно-степные почвы, сероземы супесчаные и песчаные.

Т а б л и ц а 3.5 – Расчетные значения слоя потерь z на смачивание растительности и заполнение впадин микрорельефа

В мил-

лиметрах

Характеристика растительности	z
Густая трава, редкий кустарник, различные сельскохозяйственные культуры	5 10
Лес средней густоты, кустарник	15
Густой лес	20
Тайга, завалы, моховое болото	

Т а б л и ц а 3.6 – Коэффициент гидравлической шероховатости лога (русла) m_n

Характеристика лога (русла)	m_d
Ровное земляное ложе	25
Извилистое и заросшее ложе	20
Сильно заросшее ложе	15
Русло в завалах, валуны	10

Т а б л и ц а 3.7 – Коэффициент гидравлической шероховатости склонов m_c

Характеристика поверхности склонов	Растительный покров		
	редкий или отсутствует	обычный	густой
Укатанная спланированная поверхность	50	30	20
Поверхность, хорошо обработанная вспашкой и боронованием, не вспаханная, без кочек	30	20	10
Грубо обработанная поверхность, глыбы, таежные завалы, кочковатая	20	10	5

Т а б л и ц а 3.8 – Коэффициент k при различной шероховатости лога и склонов

m_d	Коэффициент k при m_c				
	50	30	20	10	5
25	2,2	1,7	1,4	1,1	0,75
20	1,9	1,6	1,3	1,0	0,70
15	1,7	1,4	1,2	0,9	0,65
10	1,5	1,2	1,0	0,8	0,60

Т а б л и ц а 3.9 – Расчетные значения коэффициента учета неравномерности выпадения осадков γ

Длина бассейна, км	γ
До 3,0	1,00
5,0	0,95
25,0	0,90
35,0	0,80

Т а б л и ц а 3.10 – Коэффициент уменьшения ливневого стока за счет озер и болот δ

Положение озер и болот по длине бассейна	Озерность и заболоченность, %					
	2	4	6	8	10	более 10
В нижней части	0,85	0,75	0,65	0,55	0,50	Требуются специальные исследования
В верхней части	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	

Произведем расчет ливневого стока на основании исходных данных, представленных в приложении А (таблица А.3). В соответствии с этими исходными данными на существующей автомобильной дороге размещены две водопропускные трубы отверстием 1,2 м (пк 19 + 56) и 1,0 м (пк 43 + 00). Для водотока на ПК 19 + 56 при $\psi = 0,032$ (таблица 3.3); $h = 34$ мм (таблица 3.4); $z = 15$ мм (таблица 3.5); $F = 6$ км²; $m_n = 20$ (таблица 3.6); $m_c = 10$ (таблица 3.7); $k = 1,0$ (таблица 3.8); $\gamma = 1,0$ (таблица 3.9) и $\delta_6 = 1,0$

$$Q_n = 0,032 \cdot (34 - 15)^{\frac{3}{2}} \cdot 6^{\frac{2}{3}} \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 8,75 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Водоток на ПК 43 + 00 при $\psi = 0,031$; $h = 34$ мм; $z = 15$ мм; $F = 5,5$ км²; $m_n = 25$; $m_c = 10$; $k = 1,1$; $\gamma = 1,0$ и $\delta_6 = 1,0$

$$Q_n = 0,031 \cdot (34 - 15)^{\frac{3}{2}} \cdot 6^{\frac{2}{3}} \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 8,80 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3.2.2 Определение расходов воды при стоке от снеготаяния

Величину стока от снеготаяния в условиях Республики Беларусь определяют по формуле [5, 14]

$$Q_{\text{сн}} = \frac{0,56 h_{\text{п}} F}{(1+\alpha) \gamma t_{\text{п}}} \delta_{\text{л}} \delta_{\text{б}} \lambda, \quad (3.22)$$

где $h_{\text{п}}$ – слой стока в фазе подъема половодья расчетной вероятности превышения 1 % (таблица 4.9);

F – площадь водосборного бассейна, м²;

α – коэффициент формы гидрографа стока (таблица 3.12);

γ – коэффициент полноты гидрографа стока (таблица 3.12);

$t_{\text{п}}$ – продолжительность подъема половодья в сутки максимальной интенсивности снеготаяния, ч,

$$t_{\text{п}} = t_{\text{с}} + t_{\text{л}}; \quad (3.23)$$

$t_{\text{с}}$ – продолжительность водоотдачи на склоны (таблица 3.12), ч;

$t_{\text{л}}$ – продолжительность стекания по логу, ч,

$$t_{\text{л}} = \frac{1,85 L}{Q_{\text{л}}^{0,5} I_{\text{л}}}; \quad (3.24)$$

L – длина главного лога, км;

$Q_{\text{л}}$ – расчетный расход, которым предварительно задаются, м³/с;

$I_{\text{л}}$ – уклон лога, ‰;

$\delta_{\text{л}}$ – коэффициент, учитывающий снижение расхода в связи с залесенностью бассейна $f_{\text{л}}$ (таблица 3.13);

$\delta_{\text{б}}$ – то же в связи с заболоченностью (таблица 3.10);

λ – коэффициент, зависящий от вероятности превышения, $\lambda = 1$ при ВП = 1 %; 0,87 – при ВП = 2 % и 0,81 – при ВП = 3 %.

Т а б л и ц а 3.11 – Значения слоя стока в фазе подъема половодья

Районы Республики Беларусь (райцентры)	Слой стока $h_{\text{п}}$, мм, при грунтах		
	пески	супеси	суглинки, глины
Малорита, Драгичин, Высокое, Пружаны, Кобрин, Брест, Пинск, Мозырь, Петриков, Столин, Хойники, Калинковичи, Лоев	7	10	12

Минск, Мядель, Вилейка, Логойск, Смолевичи, Червень, Докшицы, Поставы, Борисов, Бобруйск, Быхов, Краснополье, Крупки, Осиповичи, Рогачев, Жлобин, Светлогорск, Ветка, Чечерск	12	15	18
Ошмяны, Мосты, Щучин, Новогрудок, Гродно, Лида, Молодечно, Барановичи, Слуцк, Дзержинск, Столбцы, Слоним, Солигорск, Старые дороги, Гомель, Ляховичи, Воложин, Брагин, Лунинец, Ивацевичи, Береза, Речица	9	12	15
Шклов, Дубровно, Чаусы, Чериков, Лиозно, Костюковичи, Климовичи, Мстиславль, Чашники, Браслав, Полоцк, Витебск, Лепель, Орша, Могилев, Бешенковичи, Сенно, Шумилино, Городок, Рассоны, Верхнедвинск, Шарковщина, Глубокое, Мины	14	18	20

Т а б л и ц а 3.12 – Значения коэффициентов α , γ и продолжительности водоотдачи на склоны t_c

Географический район	α	γ	t_c , ч
№ 1	0,10	0,77	3
№ 2	0,15	0,79	4
№ 3	0,20	0,81	5

Примечание – Географический район № 1 расположен южнее линии Волковыск – Барановичи – Слуцк – Рогачев; географический район № 2 – севернее этой линии и южнее линии Поставы – Глубокое – Бешенковичи – Лиозно; географический район № 3 – севернее этой линии.

Т а б л и ц а 3.13 – Значение коэффициента δ_l

f_l	Залесенность бассейна, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

0,2 0	1,0 0	0,8 7	0,8 1	0,7 0	0,6 4	0,5 8	0,5 3	0,5 0	0,4 6	0,4 3	0,4 1
0,2 5	1,0 0	0,8 8	0,8 1	0,7 2	0,6 7	0,6 1	0,5 7	0,5 3	0,5 0	0,4 7	0,4 4
0,3 0	1,0 0	0,9 0	0,8 2	0,7 4	0,7 0	0,6 4	0,6 0	0,5 6	0,5 3	0,5 0	0,4 7
0,3 5	1,0 0	0,9 0	0,8 3	0,7 5	0,7 1	0,6 5	0,6 1	0,5 7	0,5 4	0,5 1	0,4 8

Значение f_l (общая лесистость) может быть определено по карте лесистости зоны или можно принять среднюю лесистость: для Витебской области – 0,25; Гродненской – 0,20; Брестской, Гомельской и Могилевской – 0,35; Минской – 0,30.

В рассматриваемом примере произведем расчет стока от снеготаяния для двух водотоков на существующей дороге (см. приложение А, таблицу А.3). Для водотока на пк 19 + 56 при $h_{п} = 20$ мм (см. таблицу 3.11); $F = 6$ км²; $\alpha = 0,20$ (см. таблицу 3.12); $\gamma = 0,81$ (см. таблицу 3.12); $t_c = 5$ ч; $L = 3,2$ км; $Q_3 = 8$ м³/с; $I_l = 15$ ‰; $\delta_l = 0,83$ (см. таблицу 3.13); $\delta_6 = 1,00$ (озера отсутствуют); $\lambda = 1,00$ (ВП = 1 ‰)

$$t_l = \frac{1,85 \cdot 3,2}{8^4 \cdot 15^3} = 1,44 \text{ ч;}$$

$$t_{п} = 5 + 1,44 = 6,44 \text{ ч;}$$

$$Q_{сн} = \frac{0,56 \cdot 20 \cdot 6}{(1 + 0,20) \cdot 0,81 \cdot 6,44} \cdot 0,83 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 8,91 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Водоток на пк 43 + 00 при $h_{п} = 20$ мм; $F = 5,5$ км²; $\alpha = 0,20$; $\gamma = 0,81$; $t_c = 5$ ч; $L = 2,8$ км; $Q_3 = 8$ м³/с; $I_l = 12$ ‰; $\delta_l = 0,90$; $\delta_6 = 1,00$ (озера отсутствуют); $\lambda = 1,00$ (ВП = 1 ‰)

$$t_l = \frac{1,85 \cdot 2,8}{8^4 \cdot 12^3} = 1,36 \text{ ч;}$$

$$t_{п} = 5 + 1,36 = 6,36 \text{ ч;}$$

$$Q_{сн} = \frac{0,56 \cdot 20 \cdot 5,5}{(1 + 0,20) \cdot 0,81 \cdot 6,36} \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 8,97 \text{ м}^3/\text{с.}$$

В качестве расчетного расхода принимаем наибольший из двух стоков, в данном случае – это сток от снеготаяния.

3.2.3 Назначение мероприятий по реконструкции водопропускных сооружений

Для назначения мероприятий по реконструкции существующих искусственных сооружений необходимо определить, сможет ли их водопропускная способность обеспечить пропуск расчетных расходов воды. Если водопропускная способность существующего искусственного сооружения обеспечивает пропуск расчетного расхода, то в данном случае замену водопропускного сооружения не предусматривают, и реконструкция заключается в удлинении сооружения, вызванном уширением земляного полотна. Если водопропускная способность существующего сооружения не обеспечивает пропуск расчетного расхода, то при реконструкции предусматривают его замену на сооружение с большей водопропускной способностью.

Водопропускная способность определяется по графикам, приведенным в нормативной литературе [5] и на рисунках 3.21 и 3.22. В рассматриваемом примере водопропускная способность существующих сооружений не обеспечивает пропуск расчетных расходов, определенных в п. 3.2.1 (см. рисунок 3.7). Поэтому для обеспечения стабильной работы земляного полотна при реконструкции предусматриваем замену существующих сооружений. Так, на пк 19 + 56 реконструкцию существующей одноочковой круглой железобетонной трубы отверстием 1,2 м производим путем замены ее на трехочковую круглую железобетонную трубу отверстием 1,4 м, работающую в безнапорном режиме.

На пк 43 + 00 производим замену существующей круглой одноочковой железобетонной трубы отверстием 1,0 м также на трехочковую круглую железобетонную трубу отверстием 1,4 м, работающую в безнапорном режиме (см. рисунок 3.8).

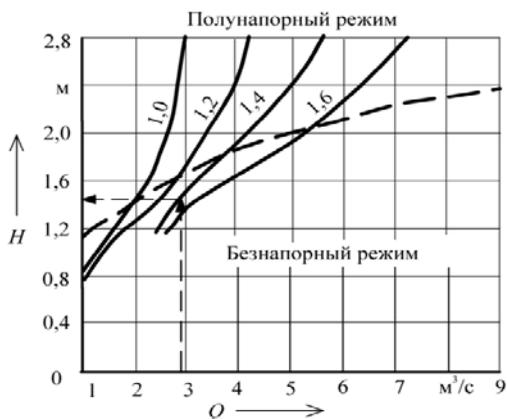
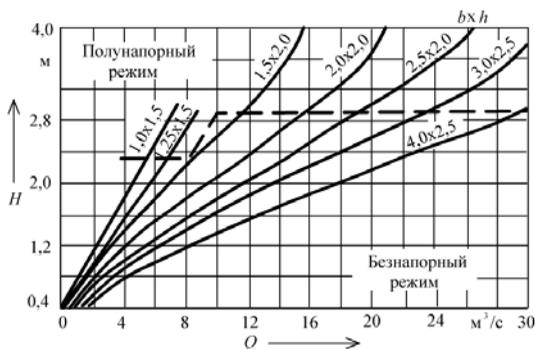


Рисунок 3.7– Водопропускная способность круглых типовых труб

Рисунок 3.8 –
Водопрпуск-
ная способ-
ность прямо-
уголь- ных ти-
повых труб



3.3 Реконструкция дорожных одежд

При реконструкции старую дорожную одежду можно использовать различными способами. Самый простой из них и наиболее удобный для строителей – это усиление дорожной одежды без ее уширения. Однако реконструкция дорог практически всегда включает в себя уширение земляного полотна и проезжей части. Поэтому использование старой дорожной одежды с необходимостью ее усиления и уширения – наиболее часто встречающийся вариант.

Расчет дорожных одежд выполняют по трем группам расчетных нагрузок:

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

При разработке проектного решения должны быть рассмотрены вопросы:

- целесообразности использования существующей дорожной одежды или отдельных ее конструктивных слоев без предварительного разрушения либо использования материалов конструктивных слоев после их переработки;
- необходимости усиления, повышения морозостойкости, улучшения дренирования, уширения существующей конструкции дорожной одежды и разработки способов уширения, а также изменения конструкции укрепления обочин.

При назначении вида реконструкции дорожных одежд магистральных и

республиканских дорог определяют:

- процент дефектности DP (характеристика состояния дорожной одежды, определяемая отношением площади деформированных участков покрытия к общей площади покрытия) существующей дорожной одежды (в долях единицы);
- толщину слоев с использованием георадарных технологий, а также их расчетные характеристики;
- характеристики грунта и материала дренажного слоя;
- фактический модуль упругости дорожной одежды при температуре воздуха в диапазоне от 10 до 30 °С включительно;
- ровность дорожного покрытия с приведением результатов ровности к индексу ровности IRI .

Виды ремонтных работ назначаются в зависимости от состояния дорожной одежды, определяемого ровностью покрытия по индексу IRI , коэффициентом надежности существующей дорожной одежды K_n и фактическим модулем упругости E_f .

В курсовом проекте следует рассмотреть два случая реконструкции дорожных одежд:

- усиление дорожной одежды на участках, где существующие рабочие отметки и отметки контрольных точек соответствуют рекомендуемым значениям, а существующая дорожная одежда обладает достаточной несущей способностью;
- проектирование новой дорожной одежды на участках смещения трассы (увеличение радиусов кривых в плане) и на участках, где существующая дорожная одежда не отвечает требованиям прочности.

3.3.1 Определение приведенной интенсивности движения и требуемого модуля упругости

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p , авт/сут, определяют по формуле [11]

$$N_p = f_{\text{пол}} N_t \sum_{i=1}^n S_{\text{ти}} P_{\text{ти}} \quad (3.25)$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (таблица 3.14);

N_t – перспективная интенсивность в обоих направлениях на дороге, ед/сут;

n – количество типов автомобилей в транспортном потоке;

S_m – коэффициент приведения рассматриваемого типа автомобиля к расчетному (таблица 3.15);

P_m – доля m -го типа автомобиля в транспортном потоке.

Число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции за расчетный срок службы,

$$\sum N_p = 0,7N_p \frac{K_c}{q^{T_{\text{сл}}-1}} T_{\text{ррж}} K_n \quad (3.26)$$

где N_p – приведенная интенсивность движения, авт/сут.;

K_c – коэффициент суммирования затрат,

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}; \quad (3.27)$$

q – показатель изменения интенсивности движения по годам, $q = 1 + \beta$ (β – коэффициент ежегодного прироста интенсивности движения);

$T_{\text{сл}}$ – расчетный срок службы дорожной одежды, лет (таблица 3.16);

$T_{\text{ррж}}$ – число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости дорожной конструкции (таблица 3.17);

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от ожидаемого (таблица 3.18).

Т а б л и ц а 3.14 – Значение коэффициента $f_{\text{пол}}$, учитывающего число полос

движения и распределения движения по ним

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

Примечания

1 Порядковый номер полосы считают справа по ходу движения в одном направлении.

2 Для расчета обочин $f_{\text{пол}} = 0,01$.

3 На многополосных дорогах допустимо проектировать дорожную одежду переменной толщины по ширине проезжей части в соответствии со значением $\sum N_p$ (число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды) в пределах различных полос.

4 На перекрестках и подходах к ним при числе полос проезжей части проектируемой дороги более трех в пределах всех полос движения принимают $f_{\text{пол}} = 0,50$.

Т а б л и ц а 3.15 – Значения коэффициентов приведения S_m для различных транспортных средств

Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения S_m к расчетной нагрузке		
	$K_{\text{пр}} (A_1)$	$K_{\text{пр}} (A_2)$	$(K_{\text{пр}} A_3)$
1 Легковой автомобиль	0,0020	0015	0,0012
2 Микроавтобус	0,0037	0,0027	0,0020
3 Грузовые автомобили:			
легкие (грузоподъемность 2–5 т)	0,20	0,10	0,05
средние (грузоподъемность 5–8 т)	0,60	0,30	0,27
тяжелые грузоподъемностью, т:			
10,0	1,00	0,87	0,65
11,5	1,35	1,00	0,87
13,0	2,90	1,50	1,00
20,0	3,60	1,60	1,10
26,0	4,80	3,50	2,00
4 Автопоезда с полуприцепом грузоподъемностью, т:			
11,5	2,50	1,50	0,90
13,0	4,20	2,50	1,70
18,0	3,00	1,90	1,10
5 Автопоезда с прицепом грузоподъемностью, т:			
11,5	2,50	1,20	0,95
13,0	4,00	2,20	1,30
20,0	4,00	2,50	1,70
26,0	8,10	5,00	3,50
6 Автобусы с нагрузкой 11,5 т на покрытие от оси:			
задней (двухосные)	1,50	1,00	0,60
средней (трехосные)	3,76	1,90	1,20
средней (трехосные, сдвоенные)	2,00	1,20	0,80

Т а б л и ц а 3.16 – Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

Категория автотомобильной дороги	Тип дорожной одежды	Коэффициент надежности K_n						
		0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
		Срок службы $T_{сл}$, лет						
I	Капитальный	19	14	–	–	–	–	–
II	"	17	13	–	–	–	–	–
III	"	15	12	11	–	–	–	–
	Облегченный	–	11	10	–	–	–	–
IV	Капитальный	12	10	9	8	–	–	–
	Облегченный	–	–	8	7	6	–	–
	Переходный	–	–	–	6	5	4	–
V	Облегченный	–	–	–	–	6	5	4
	Переходный	–	–	–	–	5	4	3
	Низший	–	–	–	–	–	4	3
VI	Переходный	–	–	–	–	5	4	3
	Низший	–	–	–	–	–	3	2

Т а б л и ц а 3.17 – Значение $T_{рдг}$ в зависимости от расположения дороги

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

Т а б л и ц а 3.18 – Значения коэффициента K_n , учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

Тип дорожной одежды	Значения коэффициента K_n при категориях дорог
---------------------	--------------------------------------------------

	I	II	III	IV	V, VI
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный, низший	–	–	1,19	1,16	1,04

Требуемый модуль упругости $E_{тр}$, МПа, при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$ шт. определяется по формуле

$$E_{тр} = 98,65[\lg(\Sigma N_p) - c], \quad (3.28)$$

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

Независимо от результата расчета по формуле (3.28) требуемый модуль упругости дорожной конструкции $E_{тр}$ должен быть не менее указанного в таблице 3.19.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции $E_{тр}$, МПа, при $\Sigma N_p < 4 \cdot 10^4$ шт. определяется по таблице 3.19.

Расчетные значения модулей упругости грунтов и дорожно-строительных материалов принимаются по приложениям Б и В.

Т а б л и ц а 3.19 – Требуемый модуль упругости дорожной одежды

Категория дороги	Требуемый модуль упругости дорожной одежды				
	капитального типа при группе нагрузок			облегченного типа	переходного и низшего типов
	A_1	A_2	A_3		
I	230	270	310	–	–
II	220	250	280	–	–
III	200	230	260	180	–
IV	180	200	220	150	100
V	–	–	–	110	90
VI	–	–	–	–	70

3.3.2 Усиление дорожных одежд

Для назначения видов ремонтных работ в зависимости от срока службы дорожной одежды и категории дороги определяют **допустимый индекс ровности $IRI_{доп}$** по формуле

$$IRI_{доп} = IRI_0 \cdot \exp(Bt), \quad (3.29)$$

где IRI_0 – начальная ровность дорожного покрытия, определяемая по таблице 5.7, мм/м;

B – коэффициент приведения (см. таблицу 3.20), лет⁻¹;

t – срок службы покрытия после окончания строительства, реконструкции или капитального ремонта, лет (см. таблицу 3.27).

Т а б л и ц а 3.20 – Значение показателя IRI_0 и коэффициента B

Категория автомобильной до- роги	I	II	III	IV
IRI_0 , мм/м	1,5	2,0	2,0	2,5
B , лет ⁻¹	0,0559	0,0644	0,0677	0,0403

Коэффициент надежности существующей дорожной одежды определяют на основании обследования по формуле

$$K_H = 1 - DP, \quad (3.30)$$

где DP – процент дефектности существующей дорожной одежды (в долях единицы с точностью до 0,01).

Значения допустимого коэффициента надежности существующей дорожной одежды $K_H^{доп}$ в зависимости от категории дороги приведены в таблице 3.21.

Толщину конструкции усиления рассчитывают на основании значений фактического модуля упругости дорожной одежды E_ϕ , требуемого модуля упругости $E_{тр}$, зависящего от интенсивности движения и состава транспортного потока, уровня надежности существующей дорожной одежды K_H и выбора материалов для устройства конструкции усиления. Толщину конструкции усиления устанавливают по номограмме, представленной на рисунке 3.9. Назначают модули упругости слоев усиления E_1 , затем находят рассчитанное соотношение E_ϕ/E_1 на оси ординат и проводят горизонталь до пересечения с наклонной линией, характеризующей соотношение $E_{тр}/E_1$. Из точки пересечения опускают вертикаль до пересечения с осью абсцисс и находят соотношение h/D . Приняв расчетный диаметр D по таблице 3.22, определяют толщину слоя усиления.

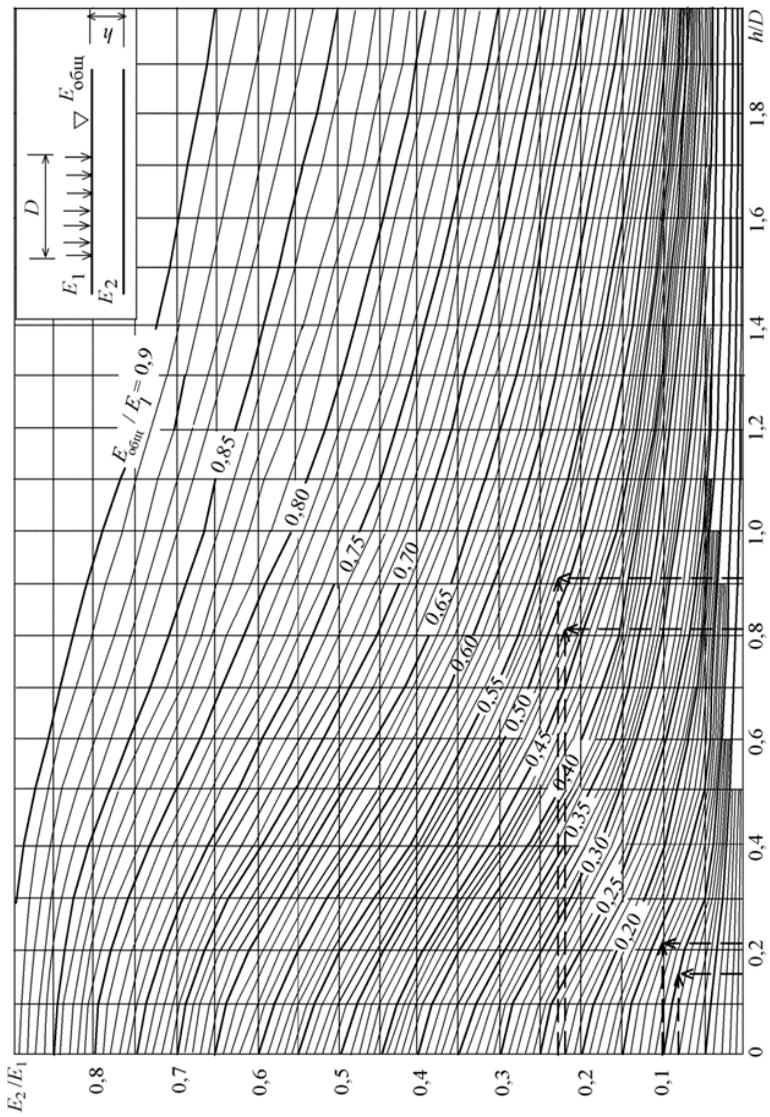


Рисунок 3.9 – Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{\text{общ}}$, МПа

Т а б л и ц а 3.21 – Допустимый коэффициент надежности дорожной одежды $K_{\text{н доп}}$

Тип дорожной одежды	Категория автомобильной дороги	Допустимый коэффициент надежности
Капитальный	I	0,80
	II	
	III	
	IV	
Облегченный	III	0,70
	IV	
	V	
Переходный	IV	0,50
	V	

Т а б л и ц а 5.9 – **Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля**

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на покрытие от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
		p , МПа	D , м
A ₁	50,0	0,60	0,37/0,33
A ₂	57,5		0,39/0,37
A ₃	65,0		0,41/0,39
<i>Примечание</i> – В числителе приведены значения для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного.			

В случае, когда $IRI_{ф} > IRI_{доп}$, $K_{н} < K_{н}^{доп}$, а $E_{ф} < 0,7E_{тр}$, намечают следующие виды ремонтных мероприятий:

- *вариант I* – демонтаж покрытия и несущего слоя основания дорожной одежды с дальнейшим устройством несущих слоев основания и новых слоев покрытия;
- *вариант II* – полный демонтаж дорожной одежды с устройством дренирующих и морозозащитных слоев основания дорожной одежды, несущих слоев основания и новых слоев покрытия;
- *вариант III* – полный демонтаж дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна. Переустройство рабочего слоя земляного полотна и слоев дорожной одежды.

Вариант I назначают в случае обеспечения дренирующей способности и

морозостойкости существующей дорожной одежды, а также достаточной несущей способности грунта рабочей зоны земляного полотна; *вариант II* – при условии достаточной несущей способности грунта рабочей зоны земляного полотна, но при условии отсутствия дренажной способности и морозостойкости слоев существующей дорожной одежды; *вариант III* – при условии отсутствия дренажной способности и морозостойкости слоев существующей дорожной одежды и низкой прочности грунтов земляного полотна.

При усилении существующей дорожной одежды по варианту I в конструкции дорожной одежды предусматривают устройство выравнивающего слоя, нижнего слоя покрытия и верхнего слоя покрытия (слоя износа). Выравнивающий слой может быть запроектирован совместно с нижним слоем покрытия, если общая толщина слоев усиления не превышает 0,10 м. По вариантам II и III устраивают конструкцию новой дорожной одежды в соответствии с расчетом.

3.3.3 Проектирование новой дорожной одежды

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

- а) дорожные одежды капитального типа для групп нагрузок A_1 и A_2 :
 - сопротивления упругому прогибу всей конструкции;
 - сдвигоустойчивости неукрепленных материалов дорожной одежды (только для группы нагрузок A_1);
 - сопротивления сдвигу в грунтах и неукрепленных материалах (только для группы нагрузок A_2);
 - сопротивления слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении;
- б) дорожные одежды капитального типа для группы нагрузок A_3 :
 - сопротивления: упругому прогибу всей конструкции; сдвигу в грунтах и неукрепленных материалах; слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении;
 - сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоев дорожной одежды;
 - устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов;
- в) дорожные одежды облегченного типа:
 - сопротивления: упругому прогибу всей конструкции; сдвигу в грунтах и неукрепленных материалах; слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении;
- г) дорожные одежды переходного типа:
 - сопротивления упругому прогибу всей конструкции.

Последовательность расчета дорожных одежд по критериям предельно-

го состояния должна быть следующей:

а) расчет дорожной одежды на сопротивление упругому прогибу на основании зависимости требуемого модуля упругости конструкции от расчетной интенсивности движения. В результате этого расчета назначают толщины конструктивных слоев и их модули упругости так, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не менее требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности;

б) расчет полученной конструкции дорожной одежды по двум независимым критериям прочности: сопротивлению сдвигу в грунте и слоях малосвязанных материалов и прочности слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении. Для дорожных одежд капитального типа в зависимости от заданной группы нагрузок выполняют дополнительные расчеты.

Конструкция дорожной одежды считается прочной, если коэффициент прочности по каждому из критериев больше или равен K_{np} , определенному с учетом заданного коэффициента надежности проектируемой конструкции (таблицы 3.23–3.24) в течение заданного срока службы дорожной одежды (см. таблицу 3.16).

Т а б л и ц а 3.23 – Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок Аз

Дорожная одежда капитального типа		Категории автомобильных дорог						
		I		II		III, IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90
Требуемый коэффициент	упругого прогиба	1,40	1,20	1,28	1,10	1,18	1,05	1,00
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,25	1,15	1,20	1,10	1,15	1,05	1,00
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении	1,20	1,15	1,10	1,03	1,05	1,00	0,95

прочности по критерию	при изгибе								
	сдвигу устойчивости асфальтобетонных слоев	1,3 0	1,25	1,30	1,25	1,2 0	1,1 5	1,1 0	
	устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов	1,3 0	1,25	1,30	1,25	1,2 0	1,1 5	1,1 0	

Минимальную толщину конструктивных слоев дорожной одежды принимают по таблице 3.27. Толщина верхнего слоя покрытия из плотного асфальтобетона должна быть не менее чем в 1,5 раза больше максимального размера зерна – при содержании щебня в составе асфальтобетона до 50 % и в 2,5 раза больше максимального размера зерна – при содержании щебня в составе асфальтобетона 50 % и более. Для других конструктивных слоев дорожной одежды толщина слоя должна превышать размер наибольших частиц каменных материалов более чем в 1,5 раза (за исключением слоев из материалов, которые применяют по способу пропитки). Верхний слой покрытия толщиной 0,03 м и менее в расчет прочности конструкции дорожной одежды не включается.

Т а б л и ц а 3.24 – Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок A_1 и A_2

Дорожная одежда капитального типа	Категории автомобильных дорог									
	I		II		III			IV		
Заданный коэффициент надежности K_n	0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95

Требуемый коэффициент прочности $K_{нп}$ по критерию	упругого прогиба	1,25	1,15	1,20	1,10	1,12	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,10	1,00	1,10	1,00	1,01	1,00	0,94	1,00	0,99	0,99
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,01	1,00	0,94	1,00	0,99	0,99

Т а б л и ц а 3.25 – Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок A_1

Дорожная одежда облегченного типа		Категории автомобильных дорог								
		III		IV			V			
Заданный коэффициент надежности K_n		0,95	0,90	0,90	0,85	0,80	0,80	0,75	0,70	0,70
Требуемый коэффициент прочности $K_{нп}$ по критерию	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	0,85
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,00	0,94	0,90	0,87	0,84	0,87	0,84	0,80	0,78
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	0,98	0,93	0,88	0,80	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75

	изгибе			5					
--	--------	--	--	---	--	--	--	--	--

Т а б л и ц а 3.26 – Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок А₁

Дорожная одежда переходного и низшего типов		Категории автомобильных дорог					
		IV			V, VI		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,70
Требуемый коэффициент прочности K_{np} по критерию	упругого прогиба	1,06	1,02	1,00	1,06	0,98	0,90
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	0,90	0,87	0,85	0,94	0,87	0,80

Т а б л и ц а 3.27 – Минимальная толщина конструктивных слоев дорожной одежды

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

Расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу

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

$$K_{np} \leq E_{общ}/E_{тр}, \quad (3.31)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{ЭР}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого коэффициента надежности по таблицам 3.23–3.26;

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

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

Значение требуемого модуля упругости $E_{\text{тр}}$ при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$ шт. вычисляют по формуле (3.28) (он должен быть не менее приведенного в таблице 3.19), а при $\Sigma N_p \leq 4 \cdot 10^4$ шт. – принимают по таблице 3.19.

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

а) определяют значение коэффициента прочности $K_{\text{пр}}^{\text{ЭР}}$ по таблицам 3.23–3.26;

б) в зависимости от числа накопленных осей за расчетный срок службы на одну полосу с учетом типа дорожной одежды назначают $E_{\text{тр}}$, МПа, после этого вычисляют произведение $K_{\text{пр}}^{\text{ЭР}} E_{\text{тр}} = E_{\text{общ}}$;

в) предварительно назначают толщину верхних слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее;

г) по приложениям Б и В принимают модуль упругости грунта активной зоны земляного полотна и материалов слоев, после чего по номограмме (см. рис. 3.9), выполняя расчет сверху вниз, находят модуль упругости на поверхности основания;

д) если основание однослойное, то по модулям упругости на поверхности основания, материала слоя основания и грунта земляного полотна определяют толщину основания по той же номограмме (см. рисунок 3.9);

е) если по конструктивным или технологическим соображениям, а также по условиям осушения или обеспечения необходимой морозоустойчивости и т. п. предусмотрено основание из нескольких слоев, то предварительно назначают толщины дополнительных слоев, а затем послойно снизу вверх находят по номограмме (см. рисунок 3.9) модуль упругости на поверхности дополнительного слоя, после чего аналогично определяют толщину остальной части основания.

Допускается вести расчет дорожной одежды снизу вверх с последовательным определением модулей упругости на поверхности конструктивных слоев дорожной одежды.

Общую толщину верхних слоев дорожной одежды (в том числе укрепленного основания) из материалов, содержащих органическое вяжущее, ориентировочно назначают в зависимости от требуемого модуля упругости по таблице 3.28.

Т а б л и ц а 3.28 – Значения толщин слоев, содержащих органическое вяжущее

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

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

Чтобы под воздействием транспортных нагрузок в грунте земляного полотна и в неукрепленных материалах дорожной одежды не возникали деформации сдвига, необходимо выполнение следующего условия прочности:

$$K_{сп}^{сп} \leq T_{сп} / T_a \quad (3.32)$$

где $K_{сп}^{сп}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды, принимаемый по таблицам 3.23–3.26;

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

$$T_{сп} = cK_1K_2 \quad (3.33)$$

c – сцепление в грунте земляного полотна (или в песчаном слое), МПа;

K_1 – коэффициент учета особенностей работы рассчитываемого слоя (грунта) на границе с вышележащим слоем дорожной одежды, принимаемый по таблице 3.29;

K_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды, определяемый по графику, представленному на рисунке 3.10, в зависимости от количества расчетных нагружений за сутки $N_{сут}$, определяемых по формуле

$$N_{сут} = \Sigma N_p / (T_{рдг} T_{сл}); \quad (3.34)$$

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

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_b; \quad (3.35)$$

$\bar{\tau}_a$ – активное напряжение сдвига от действия единичного нагружения, определяемое по номограммам, приведенным на рисунках 3.10 и 3.11

p – расчетное давление колеса на покрытие, МПа (см. таблицу 3.22);

τ_b – активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды, определяемое по номограмме, приведенной на рисунке 3.16.

Т а б л и ц а 3.29 – Значения коэффициента K_1

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

При расчетах многослойная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели. При расчете сдвигоустойчивости грунта земляного полотна за нижний слой принимают грунт земляного полотна (с учетом его влажности), а за верхний – всю дорожную одежду толщиной h_b , равной сумме толщин слоев дорожной одежды.

Модуль упругости верхнего слоя дорожной одежды E_b , МПа, принимают как средневзвешенный модуль пакета слоев, который рассчитывают по формуле

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i^3}{\sum_{i=1}^n h_i}; \quad (3.36)$$

где n – количество слоев дорожной одежды, шт.;

E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа;

h_i – толщина i -го слоя, м.

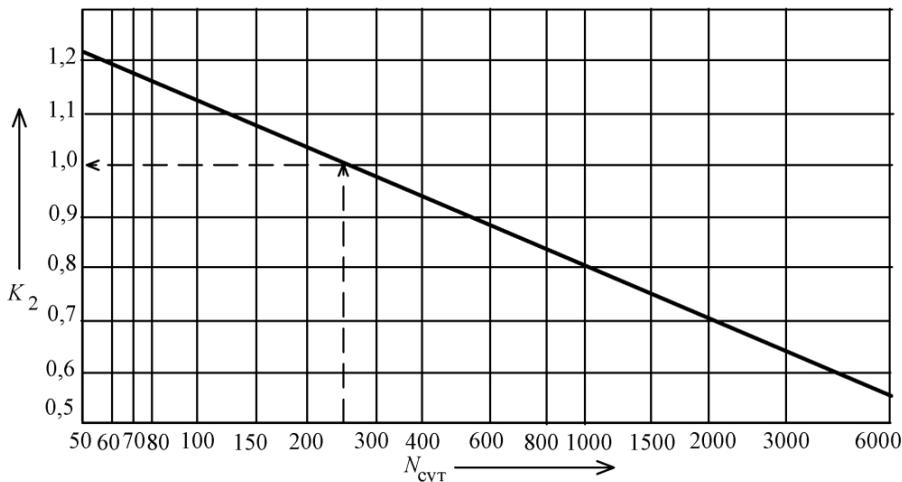


Рисунок 3.10 – Зависимость коэффициента K_2 от количества расчетных нагружений за сутки $N_{сут}$

При пользовании номограммами, приведенными на рисунках 3.11 и 3.12, для определения $\bar{\tau}_a$ величину φ принимают по приложению Б.

При расчете сдвигоустойчивости неукрепленных материалов конструктивных слоев оснований дорожных одежд с помощью номограмм, приведенных на рисунках 3.11 и 3.12, каждому слою присваивают характеристики C_n и φ_n . Модуль упругости принимают равным общему модулю упругости на поверхности рассчитываемого слоя; толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоев, которые лежат над песчаным слоем, а модуль упругости E_b рассчитывают как средневзвешенное значение для этих слоев по формуле (3.25).

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

Значение динамического модуля упругости асфальтобетонов при расчете на многократное воздействие транспортной нагрузки принимают в соответствии с составом и маркой битума по приложению В. При расчете на статическое действие нагрузки принимают модули упругости материалов, соответствующие длительности действия нагрузки не менее 600 с, по приложению В.

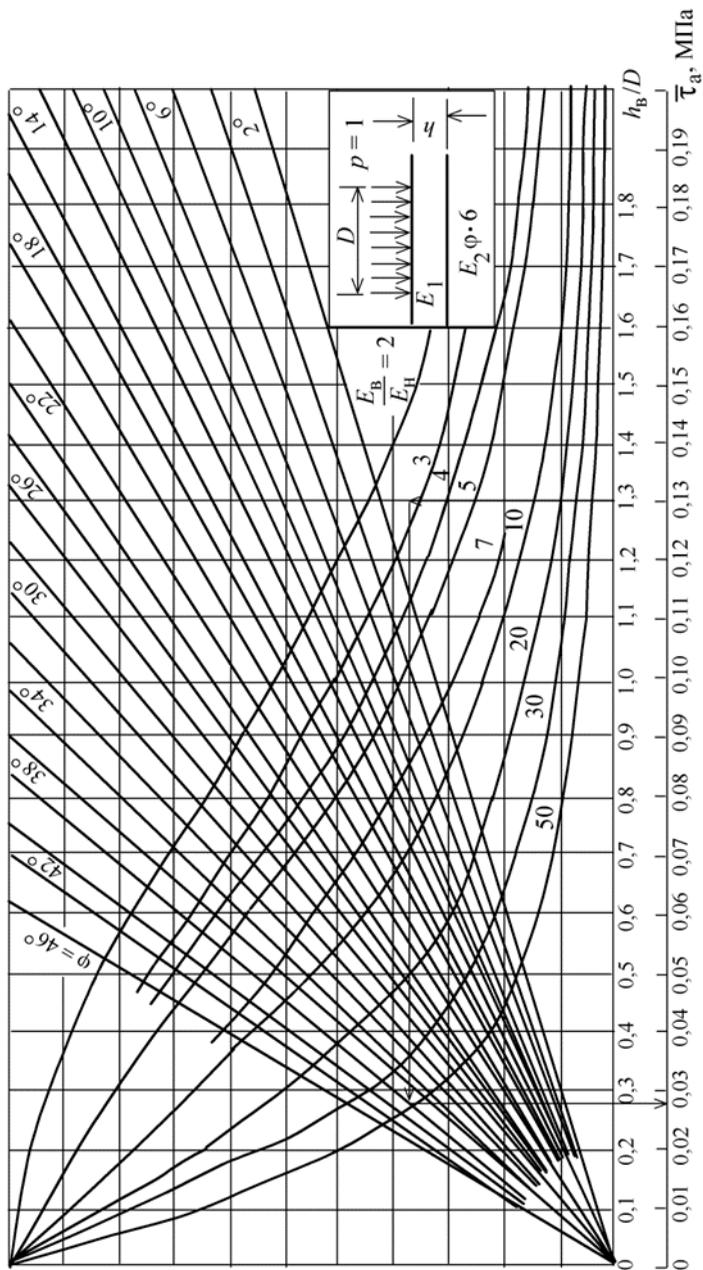


Рисунок 3.11 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига τ_a от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b/D = 0 \dots 2,0$ м)

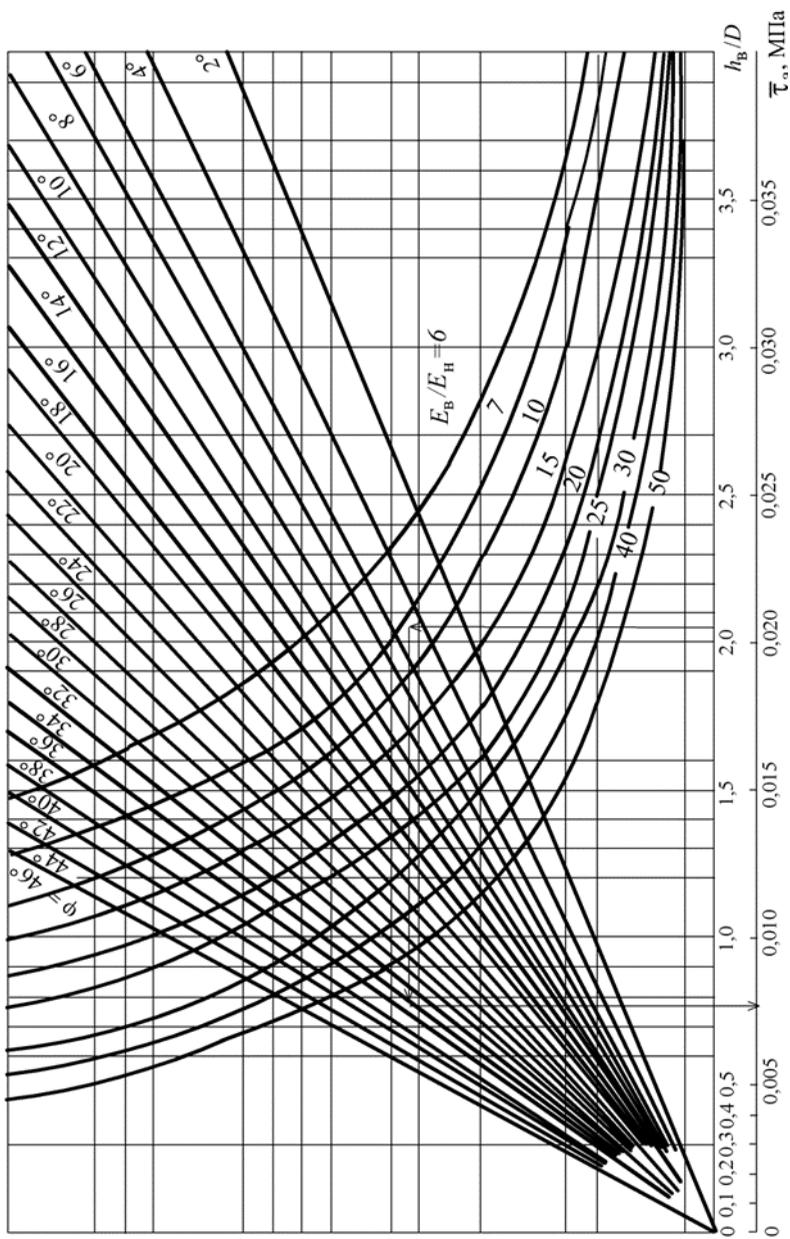


Рисунок 3.12 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига τ_a от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b/D = 2,0 \dots 4,0$ м)

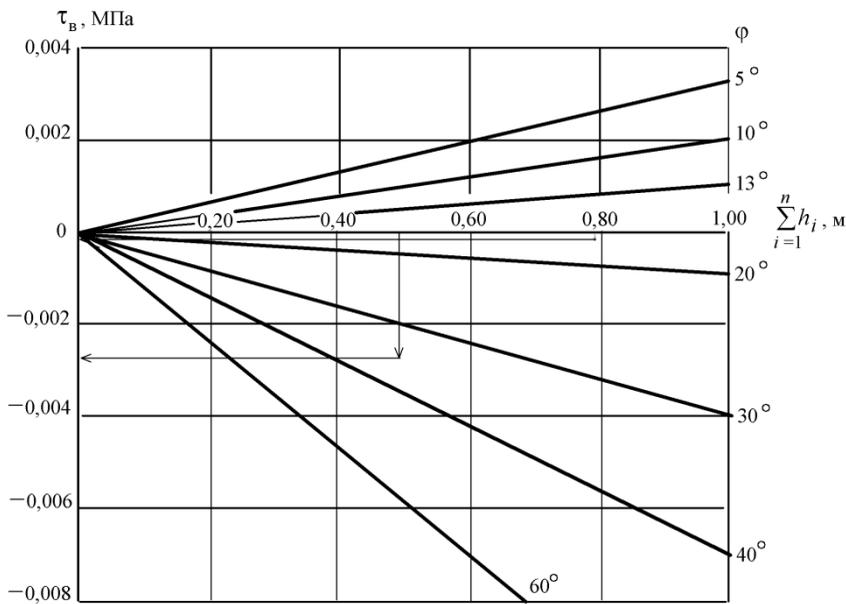


Рисунок 3.13 – Номограмма для определения активного напряжения сдвига от собственного веса дорожной одежды τ_b

Расчет дорожных одежд по критериям сдвига в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожной одежды производят в такой последовательности:

а) по приложению В назначают расчетные модули упругости слоев из асфальтобетона при температуре 20 °С. Расчетные прочностные характеристики C и ϕ грунта земляного полотна и песка подстилающего слоя дорожной одежды (если такой есть) принимают с учетом расчетной влажности по приложению Б. Расчетное значение влажности грунта W_p , %, определяют по формуле

$$W_p = W_{\text{таб}}(1 + 0,1t), \quad (3.37)$$

где $W_{\text{таб}}$ – среднее многолетнее значение относительной (доли от границы текучести) влажности грунта в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна в зависимости от дорожно-климатического района, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта (см. приложение Б);

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по таблице 3.30 в зависимости от требуемого уровня надежности. Другие расчетные характеристики грунта и материалов принимаются те же, что и в расчете по упругому прогибу;

- б) по рисункам 3.11 и 3.12 определяют активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_a$ от одиночного кратковременного нагружения, для чего многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели;
- в) по формуле (3.22) определяют предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$, возникающее в грунте земляного полотна или в песчаных слоях дорожной одежды;
- г) по формуле (3.34) находят активное напряжение сдвига T_a , возникающее в грунте земляного полотна;
- д) по условию (3.32) проверяют выполнение условия прочности;
- е) при необходимости, изменяя толщину конструктивных слоев, подбирают конструкцию, которая отвечает условию (3.32).

Т а б л и ц а 3.30 – Коэффициент нормированного отклонения t

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

Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению при растяжении

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

$$K_{пр}^{ст} \leq R_{доп} / \sigma_r, \quad (3.38)$$

где $K_{пр}^{ст}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды с учетом заданного коэффициента надежности, принимаемый по таблицам 2.23–3.26;

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

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

Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r в монолитном слое вычисляют с помощью номограмм: однослойные монолитные покрытия – по

рисунку 5.6, промежуточные монолитные слои основания – по рисунку 5.7. Номограмма, представленная на рисунке 3.14, связывает относительную толщину покрытия h_1/D (горизонтальная ось) и отношение модуля упругости материала покрытия к общему модулю на поверхности основания $E_1/E_{\text{общ.осн}}$ (кривые на номограмме) с максимальным напряжением на растяжение при изгибе $\bar{\sigma}_r$ в материале покрытия от местного нагружения, равного 1 МПа (вертикальная ось). Значение диаметра D принимают по таблице 5.9, а модуль упругости материала покрытия – в соответствии с приложением В. Номограмма (см. рисунок 5.6) построена для наиболее неблагоприятного случая, когда сцепление покрытия с основанием недостаточно.

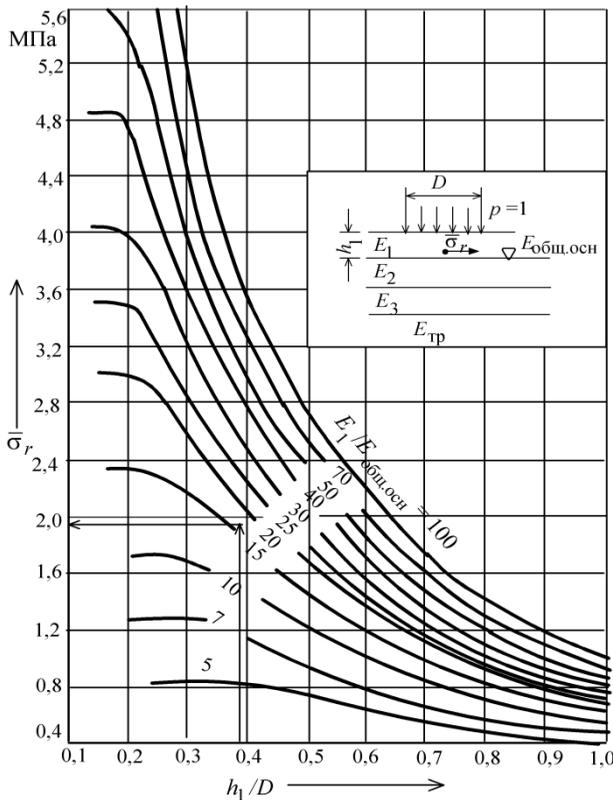


Рисунок 3.14 – Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ при изгибе от одиночного нагружения в верхнем монолитном слое дорожной одежды

При расчете на изгиб нижнего слоя двухслойного покрытия и слоев асфальтобетонного основания, подстилающего асфальтобетонное покрытие, необходимо пакет асфальтобетонных слоев в целом принимать за один эквивалентный слой. В этом случае модуль упругости эквивалентного слоя толщиной, соответствующей общей толщине пакета, необходимо определять по формуле (5.12), а рассчитывать – на выполнение условия (5.14) в нижнем слое асфальтобетонного основания, если он обладает наименьшей прочностью на растяжение при изгибе. Расчетные характеристики принимают по приложению В. Если минимальной прочностью среди асфальтобетонных слоев обладает один из вышележащих слоев, то в расчет принимают

средневзвешенные расчетные характеристики пакета слоев.

При расчете монолитных слоев оснований дорожных одежд (см. рисунок 3.15) многослойную конструкцию следует привести к трехслойной, где средним будет считаться монолитный слой (см. слой h_2 на рисунке 3.15). Номограмма связывает относительную толщину двух верхних слоев трехслойной системы $(h_1 + h_2)/D$ и растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$, от растягивающего напряжения в нижней точке слоя, который рассчитывают под центром нагруженной площади (где эти напряжения достигают максимального значения) при разных соотношениях модулей упругости слоев E_1/E_2 (кривые на номограмме) и E_2/E_3 (лучи на номограмме).

Полное значение напряжений

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p K_6, \quad (3.39)$$

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

p – расчетное давление колеса на покрытие, МПа (см. таблицу 3.22);

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

Модули упругости промежуточного слоя принимают согласно приложению В.

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

$$R_{\text{доп}} = R_{\text{и}} (1 - 0,1t) K_{\text{м}} K_{\text{кн}} K_{\text{т}}, \quad (3.40)$$

где $R_{\text{и}}$ – прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе с учетом повторности действия напряжений, принимают согласно приложению В, МПа;

t – коэффициент нормированного отклонения (см. таблицу 3.30);
 K_m – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона во времени от действия природно-климатических факторов (таблица 3.31);
 K_T – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона в конструкции в результате температурных воздействий (см. таблицу 3.31);
 $K_{кн}$ – коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу,

$$K_{кн} = \alpha \Sigma N_p^{-(1/m)}; \quad (3.41)$$

α – коэффициент, учитывающий повторность нагружения в нерасчетный период года, принимают в соответствии с приложением В;
 ΣN_p – число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности дорожной конструкции за расчетный срок службы, шт. [см. формулу (3.26)];
 m – показатель усталости материала (см. приложение В).

Т а б л и ц а 3.31 – Значения коэффициентов K_m и K_T

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

Для прочих монолитных оснований

$$R_{доп} = R_{и}. \quad (3.42)$$

Расчет покрытия и его эквивалентного слоя на изгиб осуществляют в такой последовательности:

а) вычисляют h_1/D при однослойном покрытии или $\Sigma h_i/D$ (асфальтобетонное покрытие на асфальтобетонном основании) и по формуле (3.36) расчи-

тывают средний модуль упругости асфальтобетонных слоев;

б) общий модуль упругости $E_{\text{общ.осн}}$ на поверхности основания, подстилающего асфальтобетон, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости $E_{\text{общ}}$, определяемому путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев по номограмме (см. рисунок 3.9);

в) по отношениям $E_i / E_{\text{общ.осн}}$ основания и h_1/D с помощью номограммы (см. рисунок 3.14) определяют растягивающие напряжения $\bar{\sigma}_r$ в рассматриваемом слое от разового нагружения. Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_{gr} определяют по формуле (3.39);

г) вычисляют допустимые растягивающие напряжения $R_{\text{доп}}$ по формуле (3.40). Далее находят соотношение $R_{\text{доп}} / \sigma_{gr}$, и если оно больше или равно $K_{\text{сп}}$, то конструкция считается соответствующей требованиям сопротивления усталостному разрушению при растяжении при изгибе. В противном случае возникает необходимость корректировки толщины слоев и повторение расчета.

Промежуточные монолитные слои рассчитывают в следующем порядке:

а) по формуле (3.36) вычисляют средний модуль упругости конструктивных слоев, которые расположены выше рассчитываемого монолитного слоя (слой h_1 на рисунке 3.15). Расчетный модуль упругости из материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре 0°C (см. приложение В). Слои, подстилающие монолитный слой, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости E_3 , определяемым путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев по номограмме (см. рисунок 3.9);

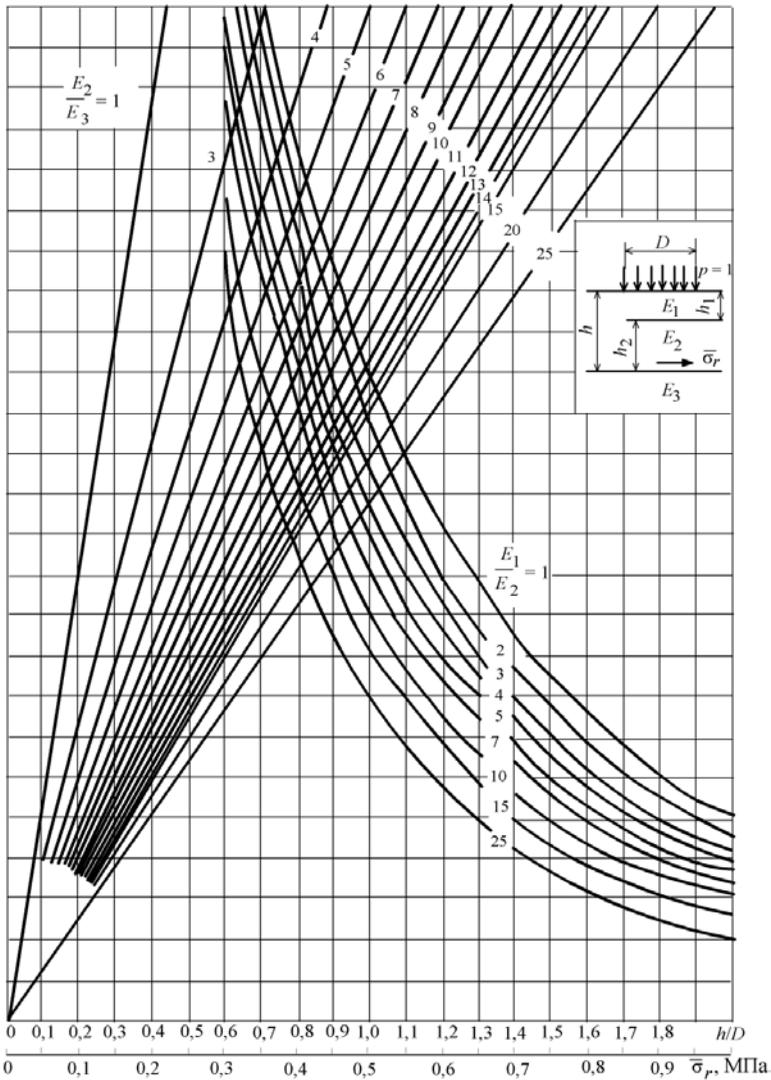


Рисунок 3.15 – Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ в

промежуточном монолитном слое дорожной одежды

б) по номограмме (см. рисунок 5.7) определяют растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в расчетном слое от одиночного нагружения. Для этого из точки на верхней горизонтальной оси, которая соответствует отношению $\Sigma h_i/D$, про-

водят вертикаль до кривой с соответствующим отношением E_1/E_2 , а из точки пересечения – вертикаль до луча, который соответствует отношению E_2/E_3 , откуда опускают вертикаль на нижнюю горизонтальную ось, где находится соответствующее значение $\bar{\sigma}_r$. Расчетное значение $\sigma_{гр}$ определяют по формуле (5.15) при $K_6 = 1,0$. Далее вычисляют соотношение $R_{доп}/\sigma_{гр}$, и если оно больше или равно $K_{пр}^{пр}$, то конструкция считается соответствующей требованиям сопротивления усталостному разрушению при растяжении при изгибе. В противном случае возникает необходимость корректировки толщины слоев и повторение расчета.

Прочность конструкции количественно оценивается величиной коэффициента прочности, определяемого по формуле [2]

$$K_{пр}^{пр} = \frac{(\pi h_{экр})^2}{15 Q_{расч}} \cdot \frac{0,1\gamma z + C \operatorname{ctg} \varphi}{K_{дин} \left(\operatorname{ctg} \varphi + \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) \right)}, \quad (3.43)$$

где $h_{экр}$ – эквивалентная толщина слоев дорожной одежды, лежащих выше слоя, устойчивость которого учитывают при определении коэффициента прочности, м,

$$h_{экр} = z - H_1 + H_1 (E_v / E_{нобщ})^{1/3}, \quad (3.44)$$

H_1 – толщина верхнего слоя модели (толщина монолитных слоев);

z – расстояние от верха покрытия до верха рассчитываемого на прочность грунта или слоя основания из несвязанных материалов, м;

$Q_{расч}$ – расчетная нагрузка на колесо автомобиля, кН (см. таблицу 3.22);

γ – средняя плотность материала монолитных слоев дорожной одежды, кг/см³;

C – внутреннее сцепление в грунте или малосвязанном материале конструктивного слоя дорожной одежды, МПа;

φ – угол внутреннего трения грунта или материала дорожной одежды, рад;

$K_{дин}$ – коэффициент динамичности, $K_{дин} = 1,3$.

Для грунтов земляного полотна расчетные значения E , C и φ принимают по приложению Б, для неукрепленных материалов – по приложению В.

3.4 Обеспечение морозоустойчивости дорожной одежды

В районах с неблагоприятными грунтовыми и гидрологическими условиями, для которых характерны наличие большого количества воды, особенно в осенний период, и глубокое зимнее промерзание, необходимо обеспечить

устойчивость дорожной одежды от вспучивания грунтов земляного полотна.

Для обеспечения морозоустойчивости одежды необходимо соблюдение следующего условия [9]:

$$H > H_M, \quad (3.45)$$

где H – толщина дорожной одежды, принятая по типовому проекту;
 H_M – толщина дорожной одежды по условию морозоустойчивости,

$$H_M = K [0,974Z - l_d \alpha_o / (1,91B)]; \quad (3.46)$$

K – коэффициент, равный: для насыпей – 0,60; выемок и нулевых мест – 0,85;

Z – глубина промерзания дороги, м,

$$Z = 1,6Z_r - 0,22; \quad (3.47)$$

Z_r – глубина промерзания грунта, м;

l_d – допустимая величина пучения покрытия (3 см – для цементобетона, 4 см – для асфальтобетона I и II марок, 6 см – для асфальтобетонов III марки, 10 см – для переходных покрытий), м;

α_o – климатический параметр;

B – комплексная характеристика грунта: для песков пылеватых, супеси легкой крупной – 1,5–2; глин, суглинков легких и песков пылеватых, суглинков тяжелых пылеватых – 4–4,5; супесей тяжелых пылеватых, суглинков легких пылеватых – 5,0 см²/сут.

Параметры α_o и Z_r равны соответственно: Брест – 25 и 0,75; Гомель – 40 и 0,87; Витебск – 60 и 1,0; Гродно – 35 и 0,80; Минск – 50 и 0,86; Могилев – 60 и 1,10; Чернигов – 50 и 0,95.

При выполнении условия (3.45) не требуется проектирования специального морозозащитного слоя.

3.5 Пример проектирования новой дорожной одежды и усиления существующей

3.5.1 Определение расчетной интенсивности движения и требуемого модуля упругости

В соответствии с исходными данными, представленными в приложении А, расчет дорожной одежды производят на действие нагрузок A_2 на расчетный период до капитального ремонта, составляющий для III категории и капитального типа покрытия 12 лет. Коэффициент ежегодного прироста интенсивности движения $\beta = 0,05$, коэффициент надежности $K_n = 0,95$ (см. таблицу 3.16), грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок пылеватый. Дорога проходит по I типу местности по увлажнению.

Интенсивность движения грузовых машин и автобусов на перспективу (20 лет) определяем по формуле [11]:

$$N_{20} = N_t(1 - p_{л}), \quad (3.48)$$

где N_t – перспективная интенсивность движения на 20-й год, авт/сут;

$p_{л}$ – относительная часть легковых автомобилей в общем потоке движения.

Перспективную интенсивность движения определяем по формуле (1.4). В соответствии с исходными данными (см. приложение А, таблица А.4) $N_t = (200 + 220 + 220 + 240 + 180 + 140 + 65 + 45) \cdot (1 + 0,05 \cdot 20) = 2620$ авт/сут.

При $N_t = 2620$ авт/сут; $p_{л} = 0,321$

$$N_{20} = 2620 \cdot (1 - 0,321) = 1779 \text{ авт/сут.}$$

Суммарную интенсивность движения на конец расчетного периода определяем по формуле [8]:

$$N_n = \frac{N_{20} m_n}{m_{20}}, \quad (3.49)$$

где m_{20} , m_n – коэффициент, показывающий увеличение интенсивности движения данного года (20-го или n -го) относительно интенсивности первого года эксплуатации.

При $N_{20} = 1779$ авт/сут; $m_{20} = 1,81$; $m_n = 1,43$ [11]

$$N_{12} = \frac{1779 \cdot 1,43}{1,81} = 1406 \text{ авт/сут.}$$

Значения коэффициентов приведения рассматриваемого типа автомобиля к расчетному S_m и доля m -го типа автомобиля в транспортном потоке P_m приведены в таблице 3.32.

Т а б л и ц а 3.32 – Коэффициенты приведения автомобилей разных марок к расчетному автомобилю и доля их в транспортном потоке

Марка автомобиля	S_m	P_m
ГАЗ-53	0,10	0,168
ЗИЛ-130	0,30	0,183
МАЗ-500А	0,87	0,137
КаМАЗ-5320	1,50	0,107
Автобусы (Икарус-250)	1,00	0,050
Автопоезда из тягачей грузоподъемностью до 10 т (МАЗ-6422)	1,50	0,034

Перспективную интенсивность в обоих направлениях, приведенную к расчетному автомобилю, определяем по формуле (3.25).

При $N_1 = N_{12} = 1406$ авт/сут; $f_{пол} = 0,55$ (см. таблицу 3.14); марках автомобилей и коэффициентах S_m и P_m , приведенных в таблице 3.32,

$$N_p = 0,55 \cdot 1406 \cdot (0,168 \cdot 0,10 + 0,183 \cdot 0,30 + 0,137 \cdot 0,87 + 0,107 \cdot 1,50 + 0,050 \cdot 1,00 + 0,034 \cdot 1,50) = 350 \text{ авт/сут.}$$

Требуемый модуль упругости $E_{тр}$ определяем в такой последовательности:
- по формуле (3.27) находим коэффициент суммирования затрат K_c . При $q = 1,05$ ($q = 1 + \beta$); $T_{сл} = 12$ лет (см. таблицу 3.16)

$$K_c = (1,05^{12} - 1) / (1,05 - 1) = 15,2;$$

- по формуле (3.15) вычисляем число накопленных осей за срок службы.

При $K_c = 15,2$; $T_{рлг} = 130$ суток (см. таблицу 3.17); $K_n = 1,38$ (см. таблицу 3.18)

$$\Sigma N_p = 0,7 \cdot 350 \cdot 15,2 / 1,05^{11} \cdot 130 \cdot 1,38 = 390693 \text{ шт.};$$

- по формуле (3.28) рассчитываем требуемый модуль упругости. При $c = 3,23$ (группа нагрузок A_2) и $\Sigma N_p = 390693$ шт.

$$E_{тр} = 98,65 \cdot (\lg 390693 - 3,23) = 233 \text{ МПа.}$$

Так как полученный требуемый модуль упругости больше табличного (см. таблицу 3.19), то его принимаем в качестве расчетного.

Определяем расчетную влажность и расчетные характеристики земляного

полотна по формуле (3.37). При $W_{\text{таб}} = 0,70 \%$ (см. приложение Б, таблицу Б.2) и $t = 1,71$ (см. таблицу 3.30)

$$W_p = 0,70 \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,71) = 0,8 \%$$

В соответствии с полученными данными по таблице Б.1 (приложение Б) принимаем следующие характеристики грунта: модуль упругости $E_y = 34$ МПа; угол внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$; внутреннее сцепление $C = 0,009$ МПа.

3.5.2 Усиление существующей дорожной одежды

Конструкция существующей дорожной одежды в соответствии с исходными данными (см. приложение А, таблица А.5) приведена на рисунке 3.16. Существующая дорожная одежда в соответствии с исходными данными (см. приложение А) имеет следующие характеристики: фактический модуль упругости $E_\phi = 180$ МПа; процент дефектности $DP = 0,25$; фактический индекс ровности $IRI_\phi = 5,1$; морозостойкость и дренажная способность недостаточна, грунт рабочей зоны земляного полотна обладает достаточной несущей способностью.

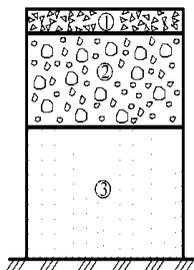


Рисунок 3.16 – Конструкция существующей дорожной одежды:

- 1 – подобранная щебеночная смесь – 0,04 м;
- 2 – гравийная смесь – 0,25 м;
- 3 – песок природный – 0,30 м;
- грунт земляного полотна – суглинок пылеватый

По формуле (3.29) определяем допустимый индекс ровности $IRI_{\text{доп}}$. При $IRI_0 = 2,0$, $B = 0,0677$ (см. таблицу 3.20) и $t = 12$ лет $IRI_{\text{доп}} = 2 \cdot \exp(0,0677 \cdot 12) = 4,51$.

Коэффициент надежности существующей дорожной одежды определяем по формуле (3.30). При $DP = 0,25$

$$K_n = 1 - 0,25 = 0,75.$$

Так как $IRI_\phi = 5,1 > IRI_{\text{доп}} = 4,51$; $K_n = 0,75 < K_n^{\text{доп}} = 0,80$ (см. таблицу 3.21) и

$E_f = 180 \text{ МПа} < 0,7E_{\text{тр}} = 163 \text{ МПа}$, то производим реконструкцию дорожной одежды по варианту II, в соответствии с которым устраивается новая конструкция дорожной одежды.

3.5.3 Назначение новой конструкции дорожной одежды

В соответствии с нормативными требованиями [2] назначаем новую конструкцию дорожной одежды, которая представлена на рисунке 3.17.

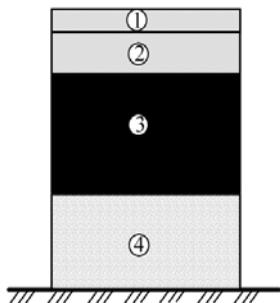


Рисунок 3.17 – Конструкция проектируемой дорожной одежды:
 1 – асфальтобетон плотный, мелкозернистый на битуме БНД 90/130 – 0,06 м;
 2 – асфальтобетон пористый, крупнозернистый на битуме БНД 90/130 – 0,08 м;
 3 – щебень по способу заклинки – 0,30 м;
 4 – песок крупнозернистый – 0,30 м;
 грунт земляного полотна – суглинок пылеватый.

Характеристику слоев дорожной одежды представим в табличной форме (таблица 3.32).

Т а б л и ц а 3.32 – Расчетные характеристики конструкции дорожной одежды

Номер слоя	Материал	h , м	E_{10} , МПа	E_{20} , МПа	E_0 , МПа	$R_{и}$, МПа	φ , град	C , МПа
1	Асфальтобетон плотный, м/з на битуме БНД 90/130	0,06	2400	1200	3600	$R_{и}=9,5$ $m=5,0$ $\alpha=4,8$	–	–
2	Асфальтобетон пористый, к/з на битуме БНД 90/130	0,08	1400	800	2200	$R_{и}=7,8$ $m=4,0$ $\alpha=8,6$	–	–
3	Щебень по способу заклинки	0,30	300	–	–	–	42	0,04
4	Песок крупнозернистый	0,30	130	–	–	–	35	0,004

5	Суглинок пылеватый	–	34	–	–	–	16	0,009
<i>Примечание</i> – Расчетные характеристики приняты по приложению Б								

Расчетный диаметр D и давление p принимаем по таблице 3.22: $D = 0,37$ м; $p = 0,6$ МПа (группа нагрузок – А₂). В соответствии с группой нагрузок новую дорожную одежду рассчитываем по следующим критериям [2]:

- допускаемому упругому прогибу;
- сопротивление сдвигу в грунтах и в неукрепленных материалах;
- сопротивление слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении.

Расчет по допускаемому упругому прогибу

Расчет по допускаемому упругому прогибу производим послойно с использованием номограммы, приведенной на рисунке 3.9.

Слой основания из крупнозернистого песка (слой 4):

$$\frac{E_2^4}{E_1^4} = \frac{34}{130} = 0,26; \quad \frac{h_4}{D} = \frac{0,30}{0,37} = 0,81.$$

По номограмме (см. рисунок 3.9)

$$\frac{E_{\text{осщ}}^4}{E_1^4} = 0,515; \quad E_{\text{осщ}}^4 = E_1^4 \cdot 0,515 = 130 \cdot 0,515 = 67 \text{ МПа.}$$

Слой основания из щебня по способу заклинки (слой 3):

$$\frac{E_2^3}{E_1^3} = \frac{67}{300} = 0,22; \quad \frac{h_3}{D} = \frac{0,30}{0,37} = 0,81.$$

Тогда (см. рисунок 3.9)

$$\frac{E_{\text{осщ}}^3}{E_1^3} = 0,48; \quad E_{\text{осщ}}^3 = E_1^3 \cdot 0,48 = 300 \cdot 0,48 = 144 \text{ МПа.}$$

Нижний слой покрытия из пористого асфальтобетона (слой 2):

$$\frac{E_2^2}{E_1^2} = \frac{144}{1400} = 0,10; \quad \frac{h_2}{D} = \frac{0,08}{0,37} = 0,21;$$

$$\frac{E_{\text{осщ}}^2}{E_1^2} = 0,14; E_{\text{осщ}}^2 = E_1^2 \cdot 0,14 = 1400 \cdot 0,14 = 196 \text{ МПа.}$$

Верхний слой покрытия из плотного асфальтобетона (слой 1):

$$\frac{E_2^1}{E_1^1} = \frac{196}{2400} = 0,08; \quad \frac{h_1}{D} = \frac{0,06}{0,37} = 0,16;$$

$$\frac{E_{\text{осщ}}^1}{E_1^1} = 0,10; E_{\text{осщ}}^1 = E_1^1 \cdot 0,10 = 2400 \cdot 0,10 = 240 \text{ МПа.}$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тпр}} = 1,1$ (см. таблицу 3.24). Проверим соблюдение условия (3.31):

$$K_{\text{пр}}^{\text{тпр}} \leq \frac{E_{\text{осщ}}}{E_{\text{пр}}}; \quad 1,1 > \frac{240}{233} = 1,04.$$

Условие не соблюдается, следовательно, необходимо увеличить толщину конструкции дорожной одежды. Увеличим толщину 3-го слоя до 0,35 м и произведем перерасчет.

Слой 3:

$$\frac{E_2^3}{E_1^3} = \frac{67}{300} = 0,22; \quad \frac{h_3}{D} = \frac{0,35}{0,37} = 0,95;$$

$$\frac{E_{\text{осщ}}^3}{E_1^3} = 0,515; E_{\text{осщ}}^3 = E_1^3 \cdot 0,48 = 300 \cdot 0,515 = 154,5 \text{ МПа.}$$

Слой 2:

$$\frac{E_2^2}{E_1^2} = \frac{154,5}{1400} = 0,11; \quad \frac{h_2}{D} = \frac{0,08}{0,37} = 0,21;$$

$$\frac{E_{\text{осщ}}^2}{E_1^2} = 0,145; E_{\text{осщ}}^2 = E_1^2 \cdot 0,145 = 1400 \cdot 0,145 = 203 \text{ МПа.}$$

Слой 1:

$$\frac{E_2^1}{E_1^1} = \frac{203}{2400} = 0,09; \quad \frac{h_1}{D} = \frac{0,06}{0,37} = 0,16;$$

$$\frac{E_{\text{осщ}}^1}{E_1^1} = 0,11; E_{\text{осщ}}^1 = E_1^1 \cdot 0,11 = 2400 \cdot 0,11 = 264 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (3.31):

$$K_{\text{тп}}^{\text{тп}} = 1,1 < \frac{E_{\text{обш}}}{E_{\text{тп}}} = \frac{264}{233} = 1,13.$$

Условие выполнено.

Расчет грунтов земляного полотна и неукрепленных материалов конструктивных слоев дорожной одежды на сдвигоустойчивость

Производим расчет на сдвигоустойчивость грунтов земляного полотна. Многослойную конструкцию дорожной одежды приводим к двухслойной расчетной модели: за нижний слой принимаем грунт земляного полотна (с учетом влажности), за верхний – всю дорожную одежду толщиной h_v , равной сумме толщин слоев дорожной одежды. Расчетная температура воздуха 20 °С [2].

Модуль упругости верхнего слоя дорожной одежды E_v , МПа, рассчитываем по формуле (3.36):

$$E_v = \frac{1200 \cdot 0,06 + 800 \cdot 0,08 + 300 \cdot 0,35 + 130 \cdot 0,30}{0,06 + 0,08 + 0,35 + 0,30} = 354 \text{ МПа.}$$

Определяем отношения:

$$\frac{E_v}{E_{\text{тп}}} = \frac{354}{34} = 10,4; \quad \frac{\sum h_i}{D} = \frac{0,79}{0,37} = 2,14.$$

По номограмме (см. рисунок 3.12, $\frac{\sum h_i}{D} > 2,0$) определяем $\bar{\tau}_a$ – активное напряжение сдвига от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы:

$$\bar{\tau}_a = 0,0078 \text{ МПа.}$$

Активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды τ_b определяем по номограмме, представленной на рисунке 3.13:

$$\tau_b = -0,0002 \text{ МПа.}$$

По формуле (3.35) определяем активное напряжение сдвига:

$$T_a = 0,0078 \cdot 0,6 - 0,0002 = 0,0045 \text{ МПа.}$$

Количество расчетных нагружений за сутки определяем по формуле (3.34).
 При $\Sigma N_p = 390693$ шт.; $T_{\text{рлг}} = 130$ сут (см. таблицу 3.17) и $T_{\text{сл}} = 12$ лет (см. таблицу 3.16)

$$N_{\text{сут}} = 390693 / (130 \cdot 12) = 250 \text{ шт./сут.}$$

Предельную величину активного напряжения сдвига в расчетной точке конструкции определяем по формуле (3.22). При $C = 0,009$ МПа (см. таблицу 3.32); $K_1 = 1,5$ (см. таблицу 3.29); $K_2 = 1,0$ (см. рисунок 3.10)

$$T_{\text{пр}} = 0,009 \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 0,0135 \text{ МПа.}$$

Для обеспечения сдвигоустойчивости должно выполняться условие (3.32), т. е.

$$T_a K_{\text{пр}}^{\text{сп}} < T_{\text{пр}};$$

$$0,0045 \cdot 1,00 = 0,0045 < 0,0135 \quad (K_{\text{пр}}^{\text{сп}} = 1,00 \text{ – см. таблицу 3.24}).$$

Условие выполняется, следовательно, конструкция дорожной одежды обеспечивает требуемую прочность по сдвигу в подстилающем грунте. Аналогично производим расчет на сдвиг в песчаном слое основания дорожной одежды в последовательности, представленной выше:

$$E_s = \frac{1200 \cdot 0,06 + 800 \cdot 0,08 + 300 \cdot 0,35}{0,06 + 0,08 + 0,35} = 492 \text{ МПа.}$$

$$\frac{E_s}{E_{\text{пр}}} = \frac{492}{130} = 3,8; \quad \frac{\Sigma h_i}{D} = \frac{0,49}{0,37} = 1,3.$$

$$\bar{\tau}_a = 0,027 \text{ МПа (см. рисунок 5.3); } \tau_b = -0,0029 \text{ МПа (см. рисунок 3.11).}$$

$$T_a = 0,027 \cdot 0,6 - 0,0029 = 0,0133 \text{ МПа.}$$

Тогда при $C = 0,004$ МПа (см. таблицу 5.19); $K_1 = 6,0$ (см. таблицу 3.39, песок крупнозернистый); $K_2 = 1,0$ (см. рисунок 3.10)

$$T_{\text{пр}} = 0,004 \cdot 6,0 \cdot 1,0 = 0,024 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (3.32):

$$0,0133 \cdot 1,00 = 0,0133 < 0,024.$$

Условие также выполняется.

Расчет монолитных слоев на сопротивление усталостному разрушению при растяжении

По номограмме, приведенной на рисунке 3.14, определяем растягивающее напряжение в рассматриваемом слое $\bar{\sigma}_r$. Для этого приводим пакет асфальтобетонных слоев к средневзвешенному по формуле (3.36) при расчетной температуре 0 °C [2]:

$$E_s = \frac{3600 \cdot 0,06 + 2200 \cdot 0,08}{0,06 + 0,08} = 2800 \text{ МПа.}$$

Определяем значения отношений $\frac{E_s}{E_{\text{осн}}}$ и $\frac{\sum h_i}{D}$, где $E_{\text{осн}}$ – модуль упругости на поверхности основания, т. е. 3-го слоя ($E_{\text{осн}} = 162 \text{ МПа}$):

$$\frac{E_s}{E_{\text{осн}}} = \frac{2800}{162} = 17,3; \quad \frac{\sum h_i}{D} = \frac{0,14}{0,37} = 0,38.$$

По номограмме (см. рисунок 3.14) определяем $\bar{\sigma}_r = 1,95 \text{ МПа}$. Полное растягивающее напряжение определяем по формуле (3.39). При $\bar{\sigma}_r = 1,95 \text{ МПа}$; $p = 0,6 \text{ МПа}$ и $K_6 = 1,0$ (однобаллонные колеса)

$$\sigma_r = 1,95 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 1,17 \text{ МПа.}$$

Определяем коэффициент учета кратковременности и повторности нагружений по формуле (3.41). При $\alpha = 8,6$; $m = 4$ (см. таблицу В.1 приложения В) и $\sum N_p = 390693 \text{ шт.}$

$$K_{\text{кн}} = 8,6 \cdot 390693^{-1/4} = 0,24.$$

По формуле (3.42) определяем предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона. При $R_n = 7,8 \text{ МПа}$ (см. таблицу 3.32); $t = 1,71$ (см. таблицу 3.31); $K_M = 0,85$ (см. таблицу 3.31); $K_{\text{кн}} = 0,24$ и $K_T = 0,90$

$$R_{\text{доп}} = 7,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) \cdot 0,85 \cdot 0,24 \cdot 0,90 = 1,19 \text{ МПа.}$$

Проверяем выполнение условия по формуле (3.38):

$$K_{\text{сп}}^{\text{пр}} = 1,0 < \frac{R_{\text{доп}}}{\sigma_T} = \frac{1,19}{1,17} = 1,02.$$

Условие выполняется.

Расчет дорожной одежды на морозоустойчивость

По формуле (3.47) определяем глубину промерзания дороги. При $Z_T = 1,1$ м

$$Z = 1,6 \cdot 1,1 - 0,22 = 1,54 \text{ м.}$$

Толщину дорожной одежды по условию морозоустойчивости определяем по формуле (3.46) для насыпей, выемок и нулевых мест. Для насыпей при $K = 0,60$; $l_d = 4$ см; $\alpha_0 = 60$; $B = 5,0$ см²/сут

$$H_M = 0,60 \cdot [0,974 \cdot 154 - (4 \cdot 60) / (1,91 \cdot 5)] = 74,3 \text{ см.}$$

Для выемок и нулевых мест при $K = 0,85$; $l_d = 4$ см; $\alpha_0 = 60$; $B = 5,0$ см²/сут

$$H_M = 0,85 \cdot [0,974 \cdot 154 - (4 \cdot 60) / (1,91 \cdot 5)] = 105,3 \text{ см.}$$

Проверяем выполнение условия (3.45). Для насыпей: $H = 79$ см $> H_M = 74,3$ см; для выемок и нулевых мест: $H = 79$ см $< H_M = 105,3$ см.

Как показал расчет, в выемках и на нулевых местах не выполняется условие морозоустойчивости дорожной одежды, поэтому на таких участках необходимо предусмотреть устройство специального морозозащитного слоя, в качестве которого можно принять геотекстиль.

3.6 Реконструкция продольного профиля

3.6.1 Анализ продольного профиля и плана существующей автомобильной дороги

Целью анализа продольного профиля и плана существующей автомобильной дороги является выявление отступлений от нормативных требований, предъявляемых к той технической категории дороги, в которую она переводится. Для проведения анализа на основе данных полевого обследования (см. приложение А, таблицу А.1) составляют продольный профиль и профильную схему плана существующей автомобильной дороги. Масштаб для составления продольного профиля и схемы плана: вертикальный – 1 :

500, горизонтальный – 1 : 5000.

Прежде чем приступить к составлению профиля, необходимо для каждой кривой по величине угла поворота α и радиуса R определить длину K , тангенс T и домер D круговой кривой, а также пикетажное значение конца круговой кривой. Длину, тангенс, домер круговой кривой и пикетажное положение ее конца определяют с точностью до 0,01 м по формулам:

$$K = R\alpha_{\text{рад}} \text{ или } K = R \frac{K_{1000}}{1000}; \quad (3.50)$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \text{ или } T = R \frac{T_{1000}}{1000}; \quad (3.51)$$

$$D = 2T - K; \quad (3.52)$$

$$\text{пк ККК} = \text{пк НКК} + K, \quad (3.53)$$

где K_{1000} и T_{1000} – соответственно длина и тангенс круговой кривой при $R = 1000$ м и данном угле поворота α , определяемые по таблицам разбивки кривых на автомобильных дорогах [12].

Произведем для примера расчет первой кривой, приведенной в приложении А (таблица А.2):

$$K = 360 \cdot (43^\circ)_{\text{рад}} = 360 \cdot 0,75049 = 270,18 \text{ м};$$

$$T = 360 \cdot \operatorname{tg} 21,5^\circ = 360 \cdot 0,393910 = 141,81 \text{ м};$$

$$D = 2 \cdot 141,81 - 270,18 = 13,44 \text{ м};$$

$$\text{пк ККК} = (\text{пк } 19 + 22,25) + 270,18 = \text{пк } 21 + 92,43.$$

Составление профиля начинают с нанесения пикетажа. После этого наносят план существующей дороги с точной привязкой к пикетажу начала и конца всех круговых кривых. Помимо элементов кривых (α , R , K и T) и привязки их к пикетажу с той же точностью указывают длины прямых между круговыми кривыми (см. приложение Г).

Далее заполняют графу «Отметки земли» и производят «наколку» этих отметок. Полученные точки земли соединяют тонкой линией толщиной 0,5 мм. Параллельно линии поверхности земли на расстоянии 2 см проводят вторую сплошную тонкую линию и соединяют одноименные точки вертикальными прямыми (см. приложение Г). Для наиболее целесообразного расположения профиля по высоте в пределах чертежа следует предварительно установить наивысшую и наименьшую отметки земли на данном

участке и наметить их положение по высоте чертежа. После этого заполняют графу «Отметки по оси проезжей части» и производят «наколку» этих отметок. Наколотые точки соединяют сплошной тонкой линией черного цвета толщиной 1 мм. В графе «Существующие уклоны и вертикальные кривые» проставляют попикетные уклоны в промилле, определяемые как разность соседних отметок проезжей части в метрах, умноженная на 10. Наклонной линией показывают направление уклона.

На профиль также наносят данные о существующих водопропускных сооружениях, пересечениях и примыканиях.

Далее на каждом пикете и плюсовой точке определяют рабочие отметки по оси проезжей части с учетом толщины существующей дорожной одежды по формуле

$$h_p = H_{п.ч} - H_з, \quad (3.54)$$

где $H_{п.ч}$ – отметка проезжей части по оси существующей дороги, м;

$H_з$ – отметка земли, м.

После построения продольного профиля и плана существующей автомобильной дороги производят их анализ. При анализе продольного профиля необходимо установить:

- величину наибольшего продольного уклона и его соответствие нормативным требованиям;
- максимальную и минимальную высоту (глубину) насыпи (выемки);
- соответствие рабочих отметок рекомендуемым значениям;
- наименьшую длину элементов продольного профиля;
- наличие вертикальных кривых и кюветов.

При анализе плана линии устанавливают:

- наличие излишней извилистости;
- величину радиусов кривых и их соответствие нормативным требованиям;
- длину прямолинейных участков;
- наличие переходных кривых и виражей;
- условия пересечения водотоков и других дорог в плане.

Произведем анализ профиля и плана рассматриваемого примера (см. приложение Г) (дорога переводится в III техническую категорию):

по профилю:

- наибольшая величина продольного уклона составляет 10 ‰, что соответствует нормативным требованиям [1];
- максимальная высота насыпи – 2,07 м (пк 43), минимальная – 0,19 м (пк 35), выемки отсутствуют;
- минимальная длина элемента продольного профиля составляет 100 м на участках: ПК 17 – ПК 18; ПК 24 – ПК 25; ПК 34 – ПК 35 и ПК 35 – ПК 36;

- вертикальные кривые и кюветы отсутствуют;
по плану:
- излишняя извилистость отсутствует;
- радиус первой круговой кривой составляет 360 м, что не соответствует нормативным требованиям [1];
- длина прямолинейных участков достаточна для размещения переходных кривых [1];
- виражи и переходные кривые отсутствуют;
- пересечения водотоков находятся на прямых участках в плане;
- на существующей дороге имеется одно примыкание и одно пересечение; угол примыкания составляет 95°, а пересечения – 90° (см. приложение А, таблицу А.6).

3.6.2 Определение высотных отметок контрольных точек

Как известно, контрольными точками являются пересечения с водотоками, другими дорогами [9]. При пересечении водотока с устройством трубы высотная отметка контрольной точки

$$H_{\text{пр}} = H_3 + d + \delta + 0,5, \quad (3.55)$$

где H_3 – отметка поверхности земли, м;

d – высота трубы в свету, м;

δ – толщина стенки трубы, м.

При пересечении несудоходных рек с устройством моста отметка контрольной точки

$$H_{\text{пр}} = \text{РУВВ} + Z + h_{\text{конс}}, \quad (3.56)$$

где РУВВ – расчетный уровень высокой воды, назначается на 1,0–3,0 м выше отметки рула;

Z – расстояние от РУВВ до низа пролетного строения, м; $Z = 0,5$ м при отсутствии корчехода и 1,0 м – при наличии корчехода;

$h_{\text{конс}}$ – конструктивная высота пролетного строения моста, м [7].

При пересечении дорог в разных уровнях отметка контрольной точки

$$H_{\text{пр}} = H \pm \Gamma \pm h_{\text{конс}}, \quad (3.57)$$

где H – отметка проезжей части по оси пересекаемой автомобильной доро-

ги или головке рельса железной дороги, м;

G – автомобильный или железнодорожный габарит, принимают равным: 5,0 м – для автомобильных дорог I–III категорий; 4,5 м – для дорог IV–V категорий; 6,95 м – для железных дорог на станции; 6,40 м – на перегоне;

$h_{\text{конс}}$ – строительная высота пролетного строения путепровода, м (в расчетах можно принять 0,60–0,85 м).

Знак "+" в формуле (3.57) принимают при прохождении проектируемой автомобильной дороги над существующей, в противном случае – знак "–". При пересечении дорог в одном уровне отметку контрольной точки принимают равной отметке проезжей части по оси пересекаемой автомобильной дороги или головке рельса железной дороги. Отметку головки рельса или проезжей части пересекаемой дороги принимают по отметке места пересечения, снятой с карты, с учетом возвышения ее над уровнем земли на 1,0–1,5 м. При реконструкции автомобильных дорог допускается изменение высотного положения второстепенных дорог путем переустройства их на подходах к пересечению или примыканию. Поэтому отметку контрольной точки на пересечении или примыкании второстепенной дороги назначают по условиям проектирования продольного профиля главной дороги.

В рассматриваемом примере трасса существующей дороги пересекает водотоки на пк 19 + 56 и пк 43 + 00 с устройством труб, реконструкция которых уже произведена (см. п. 3.2). Определим высотные отметки контрольных точек:

$$\text{на пк } 19 + 56: H_{\text{пр}} = 282,74 + 1,4 + 0,14 + 0,5 = 284,78 \text{ м};$$

$$\text{пк } 43 + 00: H_{\text{пр}} = 279,14 + 1,4 + 0,14 + 0,5 = 281,18 \text{ м}.$$

Кроме того, в пределах существующей автомобильной дороги имеется одно примыкание на пк 27 + 45 автомобильной дороги IV категории и одно пересечение на пк 39 + 05 с дорогой III категории (см. приложение А, таблицу А.6). Высотные отметки этих точек назначаем по условиям проектирования продольного профиля главной дороги.

3.6.3 Определение рекомендуемых рабочих отметок насыпей

Рекомендуемые рабочие отметки насыпей определяют из двух условий [9]:

- по снегонезаносимости дороги;
- по обеспечению нормального водно-теплового режима земляного полотна.

По первому условию рекомендуемую рабочую отметку насыпи на открытых участках местности I-го типа по увлажнению определяют по формуле [8, 9]

$$h_p = h_{сн} + \Delta h, \quad (3.58)$$

где $h_{сн}$ – расчетная толщина снежного покрова, м;

Δh – минимально необходимое возвышение бровки земляного полотна над снежным покровом, м [1].

Перед определением рекомендуемых рабочих отметок насыпей по второму условию необходимо разбить трассу на участки в соответствии с типами местности по увлажнению. Первый тип местности (сухие места) принимают там, где уклоны местности в полосе дороги не менее 20 %, второй тип (сырые места) – на участках с избыточным увлажнением в отдельные периоды года, где продольные уклоны менее 20 %. На участках болот и заболоченных пойм рек, где дорога проходит по мокрым участкам с постоянным избыточным увлажнением, принимают третий тип местности по увлажнению.

Рекомендуемые рабочие отметки насыпей при прохождении дороги по первому и второму типу местности по увлажнению определяют по формуле

$$h_p = h_1 + h_{до} - ci_{об}, \quad (3.59)$$

где h_1 – допустимое минимальное возвышение низа дорожной одежды над поверхностью земли, м [1];

$h_{до}$ – толщина дорожной одежды, м;

c – ширина обочины, м;

$i_{об}$ – уклон обочины, м.

Для третьего типа местности по увлажнению рекомендуемые рабочие отметки насыпей находят по формуле

$$h_p = h_2 - h_{гв} + h_{до} - ci_{об}, \quad (3.60)$$

где h_2 – допустимое минимальное возвышение низа дорожной одежды над уровнем грунтовых вод, м [1];

$h_{гв}$ – глубина залегания грунтовых вод, м.

К расчету принимают наибольшую рекомендуемую рабочую отметку.

В рассматриваемом примере типы местности по увлажнению – 1-й и 2-й (см. приложение Г). Для 1-го типа

$$h_p = 0,6 + 0,7 = 1,30 \text{ м,}$$

для 2-го –

$$h_p = 0,8 + 0,79 - 2,5 \cdot 0,04 = 1,49 \text{ м.}$$

В расчет принимают наибольшую из двух условий рекомендуемую рабочую отметку, т. е. $h_p = 1,49 \text{ м}$.

3.6.4 Нанесение проектной линии

Проектная линия наносится с учетом положения проектной линии существующей дороги, с соблюдением рекомендуемых рабочих отметок и с учетом толщины слоев усиления дорожной одежды.

В переломах продольного профиля в зависимости от алгебраической разности сопрягаемых уклонов вписываются вертикальные кривые. Вертикальные кривые рассчитываются либо аналитически, либо при помощи таблиц [12].

В рассматриваемом примере земляное полотно практически на всех участках занижено, т. е. не обеспечиваются снегонезаносимость дороги и нормальный водно-тепловой режим земляного полотна. Кроме того, в результате реконструкции водопропускных труб (отверстия изменились) высотные отметки контрольных точек увеличились. Поэтому проектную линию наносим на такой высоте, чтобы обеспечить вышеперечисленные условия. Так, на участках пк 15–пк 19, пк 20–пк 23, пк 24–пк 36 проектную линию значительно поднимаем, на отдельных участках – до 0,8–1,50 м (пк 22, пк 30, пк 34, пк 35 и т. д.) для обеспечения снегонезаносимости и нормального водно-теплового режима. В переломах продольного профиля, где алгебраическая разность сопрягаемых уклонов превышает 5%, вписываем вертикальные кривые, т. к. дорога III категории (см. приложение Г).

В курсовом проекте следует привести пример расчета какой-либо вертикальной кривой и дать обоснование нанесенной проектной линии. Кроме того, в этой части проекта следует обосновать необходимость проектирования кюветов. Для этого производится анализ реконструированного продольного профиля, в результате которого выявляются участки, на которых необходимо устройство кюветов. Как известно, кюветы необходимо устраивать в выемках, на нулевых местах и вдоль невысоких насыпей, где высота насыпи меньше глубины кювета. Глубина кювета принимается в зависимости от вида грунтов основания: 0,4 м для песчаных грунтов; 0,6 м для супесей; 0,8 м для суглинков и глин и 0,9 м для пылеватых грунтов. В рассматриваемом примере грунт основания – суглинок легкий пылева-

тый. Следовательно, глубину кювета принимаем 0,9 м. Так как высота насыпей на всем протяжении превышает указанную величину, а выемки и нулевые места отсутствуют, то в проектировании кюветов нет необходимости.

Геологическое строение наносим по данным задания ниже линии земля в масштабе 1 : 50. Вдоль трассы через 200–300 м располагаем шурфы глубиной до 2,0 м и скважины (у водопрпускных сооружений) глубиной на 2,5–5,0 м ниже бровки земляного полотна. В колонке шурфа или скважины обозначаем грунты по глубине, сверху колонки обозначаем номер шурфа или скважины, снизу – глубину. Снизу геологический профиль ограничиваем тонкой линией (приложение Г).

3.7 Реконструкция земляного полотна

Реконструкция земляного полотна предусматривает уширение насыпей и выемок для устройства дополнительных полос проезжей части, переходно-скоростных полос, площадок для стоянки автомобилей или для доведения ширины земляного полотна до норм категории, установленной для данной дороги.

Уширение может быть односторонним или двухсторонним (рисунок 3.18). Двухстороннее (симметричное) уширение – это уширение, при котором ось существующей дороги (ОСД) остается без изменения и совмещается с осью реконструируемой дороги (ОРД). При этом уширение производят путем досыпки насыпи или срезки откосов выемки с двух сторон. Такое уширение целесообразно при высоте насыпей и глубине выемок до 2–3 м.

Одностороннее (несимметричное) уширение – это уширение, при котором ось реконструируемой дороги (ОРД) смещена в сторону от существующей дороги (ОСД), а уширение производят путем досыпки насыпи или срезки откоса выемки с одной стороны.

При назначении способов уширения земляного полотна необходимо иметь в виду следующие преимущества и недостатки, присущие каждому из способов:

*о д н о с т о р о н н е е у ш и р е н и е
д о с т о и н с т в а :*

- при наличии на участке водопрпускных труб с оголовками удлинение трубы производят только с одной стороны;
- не нарушается один из откосов;
- возможность более широкого применения средств механизации;

н е д о с т а т к и :

- смещается ось существующей дороги, что усложняет устройство двухскатного поперечного профиля земляного полотна;
- новая часть дорожной одежды укладывается на свежееотсыпанное земля-

ное полотно, которое не обладает такой же степенью плотности, как существующее земляное полотно;

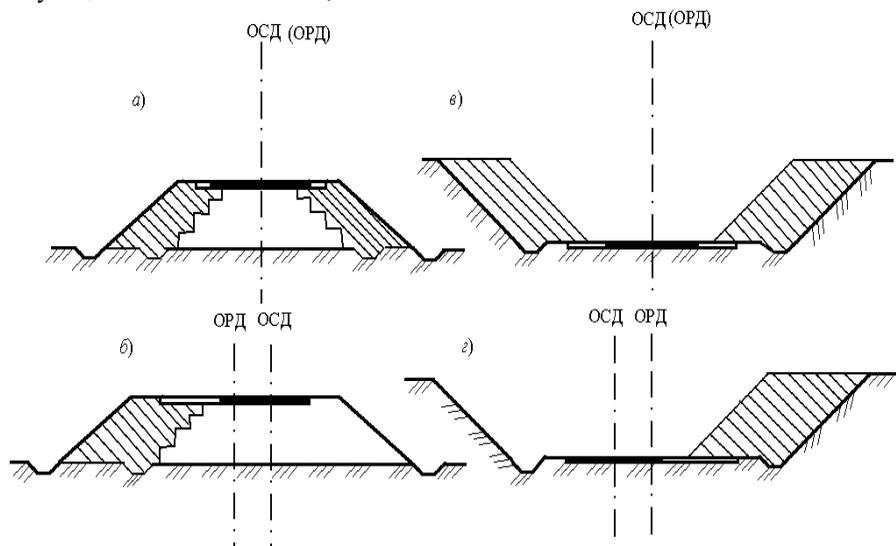


Рисунок 3.18 – Схемы уширения земляного полотна
в насыпях: а – двухстороннее, б – одностороннее;
в выемках: в – двухстороннее, г – одностороннее

**двухстороннее уширение
достоинства:**

- ось существующей дороги не смещается;
- новая часть дорожной одежды укладывается на хорошо уплотненный грунт существующего земляного полотна;

недостатки:

- при наличии на участке водопропускных труб с оголовками приходится удлинять трубы с двух сторон с разборкой оголовков, что увеличивает стоимость реконструкции;
- нарушаются оба откоса земляного полотна;
- для возможности применения средств механизации при высоте насыпей и глубине выемок более 2–3 м приходится уширять земляное полотно на величину больше требуемой по расчету.

Уширение земляного полотна производят на тех участках, где ось трассы реконструируемой дороги совпадает с осью трассы существующей дороги. На участках же, где ось трассы реконструируемой дороги не совпадает с

существующей (на участках увеличения радиусов кривых в плане, ликвидации излишней извилистости), земляное полотно проектируют как новое в соответствии с требованиями для данной категории дороги.

В курсовом проекте необходимо дать обоснование принятому способу уширения земляного полотна и привести поперечные профили в наиболее характерных местах. В рассматриваемом примере (приложение Д) принято двустороннее уширение земляного полотна, так как высоты насыпей практически не превышают 2,0 м и приведены поперечные профили земляного полотна на ПК 30 и ПК 33.

3.8 Реконструкция пересечений (примыканий) в одном уровне

При реконструкции дорог с целью улучшения условий пересечений или примыканий с другими дорогами предусматривают переустройство простых пересечений (примыканий) в одном уровне в канализированные. Проектирование пересечения (примыкания) выполняют на ситуационном плане в масштабе 1 : 250–1 : 500.

Устройство канализированного пересечения (примыкания) заключается в проектировании:

- сопряжения кромок проезжих частей пересекающихся (примыкающих) дорог;
- каплевидных островков на второстепенной дороге;
- треугольных направляющих островков и островков с зоной безопасности;
- дополнительных полос.

3.8.1 Расчет сопряжения кромок проезжих частей пересекающихся (примыкающих) дорог

Сопряжение кромок проезжих частей пересекающихся (примыкающих) дорог (рисунок 3.19) осуществляют по коробовой кривой [7,15], состоящей из трех круговых кривых, из которых средняя описывается радиусом R_2 не менее 25 м при съездах с дорог I и II категорий, 20 м – с дорог III категории и 15 м – с дорог IV и V категорий. При этом радиус выходной кривой принимают $R_1 = 2R_2$ ($\alpha_1 = 15^\circ$), радиус выходной кривой – $R_3 = 3R_2$ ($\alpha_3 = 20^\circ$). Порядок проектирования коробовой кривой изложен в литературе [10] и является следующим:

1 Вычисляют значения тангенсов входной $T_{вх}$ и выходной $T_{вых}$ кривых:

$$T_{вх} = T_1 + [(T_1 + T_2)\sin(\varphi - \alpha_1) + (T_2 + T_3)\sin\alpha_3](1 / \sin\varphi); \quad (3.61)$$

$$T_{вых} = T_3 + [(T_3 + T_2)\sin(\varphi - \alpha_3) + (T_2 + T_1)\sin\alpha_1](1 / \sin\varphi); \quad (3.62)$$

$$T_1 = R_1 \operatorname{tg}(\alpha_1 / 2); T_2 = R_2 \operatorname{tg}(\varphi - (\alpha_1 + \alpha_3)) / 2; T_3 = R_3 \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2),$$

где φ – угол пересечения (примыкания) дорог.

2 Определяют пикетажное положение начала (НKK) и конца (КKK) коробовой кривой:

$$\text{пк НKK} — \text{пк т. «О»} — T_{\text{BX}}; \quad (3.63)$$

$$\text{пк КKK} — \text{пк т. «О»} + T_{\text{ВЫХ}}, \quad (3.64)$$

где ПК т.«О» – пикетажное положение точки пересечения кромок сопрягаемых полос движения.

3 Вычисляют координаты конца входной ($X_{\text{BX}}, Y_{\text{BX}}$) и выходной ($X_{\text{ВЫХ}}, Y_{\text{ВЫХ}}$) кривых (рисунок 3.20):

$$X_{\text{BX}} = R_1 \sin \alpha_1; \quad (3.65)$$

$$Y_{\text{BX}} = R_1(1 - \cos \alpha_1); \quad (3.66)$$

$$X_{\text{ВЫХ}} = R_3 \sin \alpha_3; \quad (3.67)$$

$$Y_{\text{ВЫХ}} = R_3(1 - \cos \alpha_3). \quad (3.68)$$

4 Определяют координаты середины центральной кривой $X_{\text{Ц}}, Y_{\text{Ц}}$ (рисунок 3.20):

$$X_{\text{Ц}} = X_{\text{BX}} + (R_2 \sin \alpha_2) / 2; \quad (3.69)$$

$$Y_{\text{Ц}} = Y_{\text{BX}} + [R_2(1 - \cos \alpha_2) / 2]; \quad (3.70)$$

$$X'_{\text{Ц}} = X_{\text{ВЫХ}} + (R_2 \sin \alpha_2) / 2; \quad (3.71)$$

$$Y'_{\text{Ц}} = Y_{\text{ВЫХ}} + [R_2(1 - \cos \alpha_2) / 2]. \quad (3.72)$$

5 Вычисляются координаты X, Y для детальной выноски положения кромки проезжей части. На входной и выходной кривых координаты определяют по следующим формулам [14]:

$$X_i = R_i \sin [(180^\circ / \pi)(K / R_i)]; \quad (3.73)$$

$$Y_i = R_i [1 - \cos[(180^\circ / \pi)(K / R_i)]], \quad (3.74)$$

где $R_i = R_1$ или $R_i = R_3$;

K – интервал, с которым производится детальная выноска положения кромки проезжей части, м (рекомендуется принимать $K = 1$ м).

Координаты точек средней кривой при разбивке ее от входного тангенса до середины:

$$X = X_{\text{BX}} + R_2 \sin A \cos \alpha_1 - R_2(1 - \cos A) \sin \alpha_1; \quad (3.75)$$

$$Y = Y_{\text{BX}} + R_2 \sin A \sin \alpha_1 - R_2(1 - \cos A) \cos \alpha_1; \quad (3.76)$$

$$A = ((K - K_{\text{BX}}) / R_2 \pi) 180^\circ, \quad (3.77)$$

где K_{BX} – длина входной кривой,

$$K_{\text{BX}} = (R_1 \pi \alpha_1^\circ) / 180^\circ. \quad (3.78)$$

На остальном участке средней кривой координаты определяют аналогично, подставляя вместо X_{BX} и Y_{BX} значения $X_{\text{ВЫХ}}$ и $Y_{\text{ВЫХ}}$, а вместо K_{BX} – значения

$K_{\text{ВЫХ}}$:

$$K_{\text{ВЫХ}} = (R_3 \pi \alpha_3^\circ) / 180^\circ. \quad (3.79)$$

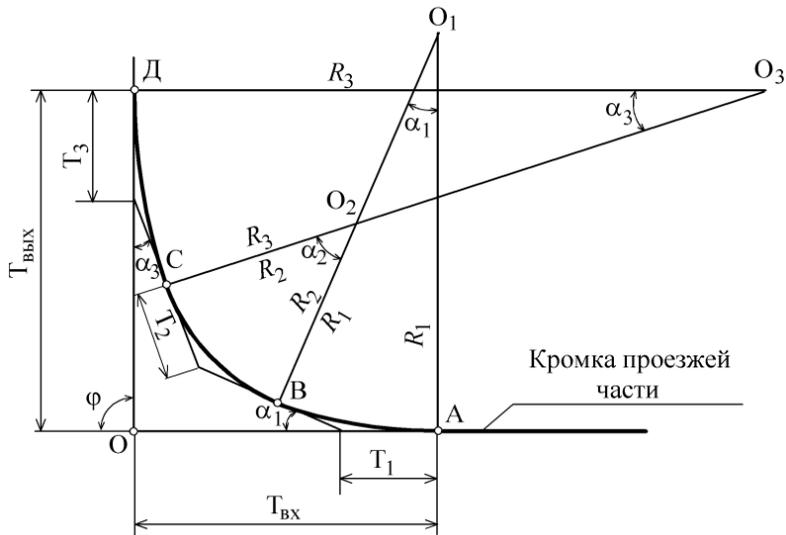


Рисунок 3.19 – Разбивка сопряжений кромки проезжей части

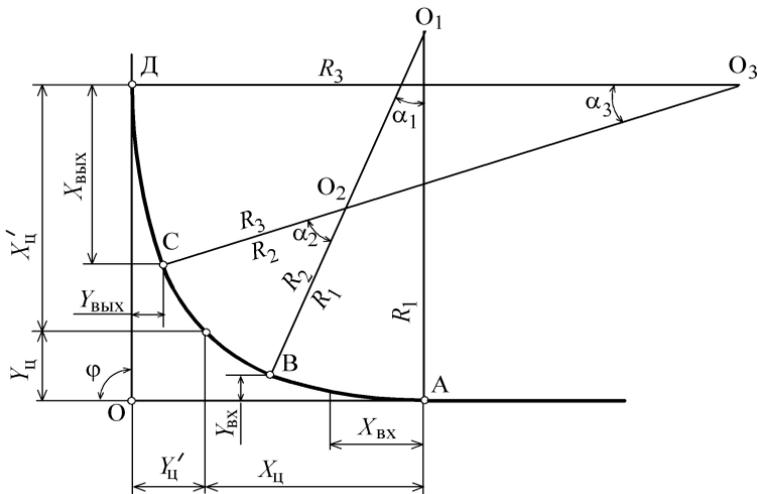


Рисунок 3.20 – Схема разбивочных координат

В п. 3.8.3 приведен пример расчета коробовой кривой для исходных данных, представленных в приложении А.

3.8.2 Проектирование островков с зоной безопасности, каплевидных направляющих островков на второстепенной дороге, треугольных направляющих островков и дополнительных полос

Порядок проектирования островков с зоной безопасности, каплевидных направляющих островков на второстепенной дороге, треугольных направляющих островков приведен в пособии [7], а схемы разбивки представлены на рисунках 3.21 и 3.22.

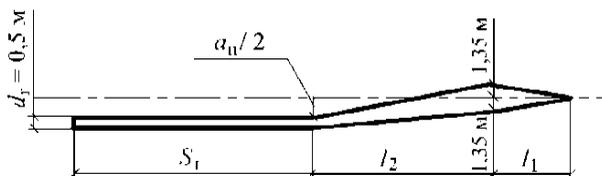


Рисунок 3.21 – Схема разбивки направляющего островка с зоной безопасности

Дополнительные полосы назначают в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1].

Длину полос торможения и разгона принимают по таблице 3.32, длину отгона полос разгона и торможения – по таблице 3.33.

В курсовом проекте необходимо привести расчет коробовой кривой для одного из пересечений (примыканий) (см. ниже), а также представить в графической части проекта плана пересечения (примыкания) с поперечными профилями в характерных сечениях в масштабе 1 : 500.

Т а б л и ц а 3.32 – Длина полос торможения и разгона

Расчетная скорость, км/ч	Длина полосы торможения, м	Длина полосы разгона, м
140	270	370
120	140	220
100	90	180
80	70	160

Т а б л и ц а 3.33 – Длина отгона

Расчетная скорость, км/ч	Длина отгона, м	
	полоса торможения	полоса разгона
140	50	80
120	30	60
100	30	60
80	30	60

3.8.3 Пример расчета коробовой кривой

В рассматриваемом примере на ПК 39 + 05 имеется простое пересечение (см. приложение А, таблицу А.6), которое необходимо переустроить в канализированное типа III-3-п, так как суммарная интенсивность движения в узле превышает 3000 авт/сут. Угол пересекающихся дорог составляет 90° ($\varphi = 90^\circ$).

Кромки пересекающихся дорог сопрягаются по коробовой кривой, параметры которой рассчитываем по формулам, приведенным в п. 3.8.1. В соответствии с категорией пересекающихся дорог назначаем радиус средней кривой $R_2 = 20$ м [1] и определяем радиусы входной и выходной кривых: $R_1 = 2R_2 = 2 \cdot 20 = 40$ м ($\alpha_1 = 15^\circ$); $R_3 = 3R_1 = 3 \cdot 20 = 60$ м ($\alpha_3 = 20^\circ$).

Рассчитываем тангенсы входной, средней и выходной кривых:

- входной – $T_1 = R_1 \text{tg}(\alpha_1 / 2) = 40 \cdot \text{tg}15^\circ / 2 = 40 \cdot 0,131653 = 5,27$ м;

- средней – $T_2 = R_2 \text{tg}[\varphi - (\alpha_1 + \alpha_2) / 2] = 20 \cdot \text{tg}[90^\circ - (15^\circ + 20^\circ) / 2] = 20 \cdot 0,520567 = 10,41$ м;

- выходной – $T_3 = R_3 \text{tg}(\alpha_3 / 2) = 60 \cdot \text{tg}20^\circ / 2 = 60 \cdot 0,176327 = 10,58$ м.

По формулам (8.1) и (8.2) вычисляем значения тангенсов коробовой кривой на входе и выходе:

$$T_{\text{вх}} = 5,27 + [(5,27 + 10,41)\sin(90^\circ - 15^\circ) + (10,41 + 10,58)\sin 20^\circ](1 / \sin 90^\circ) =$$

$$= 5,27 + (15,68 \cdot 0,965926 + 20,99 \cdot 0,342020) \cdot 1 / 1 = 27,6 \text{ м};$$

$$T_{\text{вых}} = 10,58 + [(10,58 + 10,41)\sin(90^\circ - 20^\circ) + (10,41 + 5,27)\sin 15^\circ](1 / \sin 90^\circ) =$$

$$= 10,58 + (20,99 \cdot 0,939693 + 15,68 \cdot 0,258819) \cdot 1 / 1 = 34,36 \text{ м}.$$

Схема разбивки сопряжения кромки проезжей части на пересечении представлена на рисунке 3.23.

По формулам (3.83) и (3.64) определяем пикетажное положение начала (НKK) и конца (КKK) коробовой кривой:

$$\text{пк НKK} = (\text{пк } 39 + 05) - 27,60 = \text{пк } 38 + 77,40;$$

$$\text{пк КKK} = (\text{пк } 39 + 05) + 35,36 = \text{пк } 39 + 40,36.$$

Координаты конца входной и выходной кривых определяем по формулам (3.65)–(3.68):

$$X_{\text{вх}} = 40 \cdot \sin 15^\circ = 40 \cdot 0,258819 = 10,35 \text{ м};$$

$$Y_{\text{вх}} = 40 \cdot (1 - \cos 15^\circ) = 40 \cdot 0,034074 = 1,36 \text{ м};$$

$$X_{\text{вых}} = 60 \cdot \sin 20^\circ = 60 \cdot 0,342020 = 20,52 \text{ м};$$

$$Y_{\text{вых}} = 60 \cdot (1 - \cos 20^\circ) = 60 \cdot 0,060307 = 3,62 \text{ м}.$$

По формулам (3.69)–(3.73) определяем координаты середины центральной кривой:

$$X_{\text{ц}} = 10,35 + (20 \sin 55^\circ) / 2 = 10,35 + (20 \cdot 0,819152) / 2 = 18,54 \text{ м};$$

$$Y_{\text{ц}} = 1,36 + [20 \cdot (1 - \cos 55^\circ) / 2] = 1,36 + [20 \cdot (1 - 0,573576) / 2] = 5,62 \text{ м};$$

$$X'_{\text{ц}} = 20,52 + (20 \sin 55^\circ) / 2 = 20,52 + (20 \cdot 0,819152) / 2 = 28,71 \text{ м};$$

$$Y'_{\text{ц}} = 3,62 + [20 \cdot (1 - \cos 55^\circ) / 2] = 3,62 + [20 \cdot (1 - 0,573576) / 2] = 7,88 \text{ м}.$$

Схема разбивочных координат представлена на рисунке 3.24.

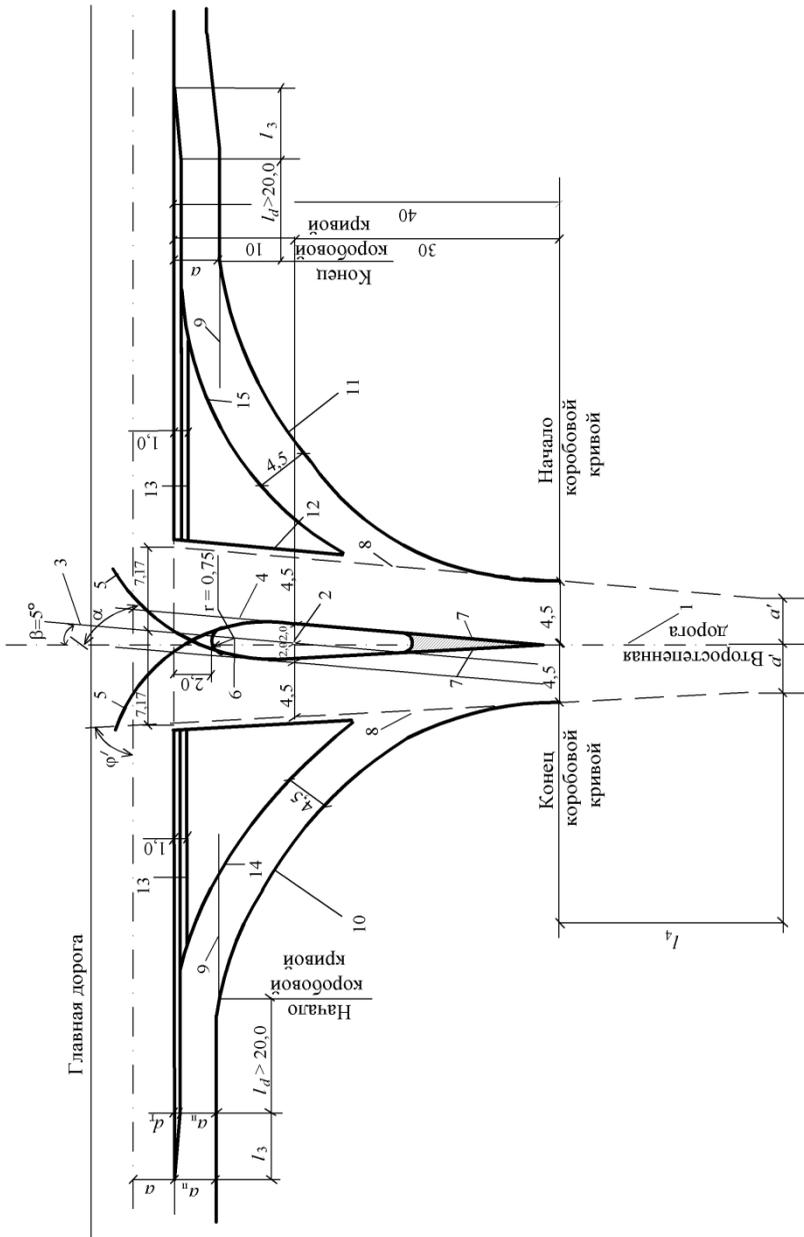


Рисунок 3.22 – Проектирование каплевидного и треугольного направляющего островков

Координаты X_i и Y_i для детальной выноски положения кромки проезжей части на входной и выходной кривых определяем по формулам (3.73) и (3.74):

- на входной кривой при $R_1 = 40$ м; $K = 1,0$ м

$$X_1 = 40 \sin[(180^\circ/\pi)(1,0/40)] = 1,0 \text{ м};$$

$$Y_1 = 40[1 - \cos(180^\circ/\pi)(1,0/40)] = 0,012 \text{ м};$$

- на выходной кривой при $R_3 = 60$ м; $K = 1,0$ м

$$X_1 = 60 \sin[(180^\circ/\pi)(1,0/60)] = 1,0 \text{ м};$$

$$Y_1 = 60[1 - \cos(180^\circ/\pi)(1,0/60)] = 0,008 \text{ м}.$$

При последующих значениях K координаты точек кромки проезжей части на входной и выходной кривых приведены в таблице 3.23.



Рисунок 3.23 – Разбивка сопряжения кромки проезжей части

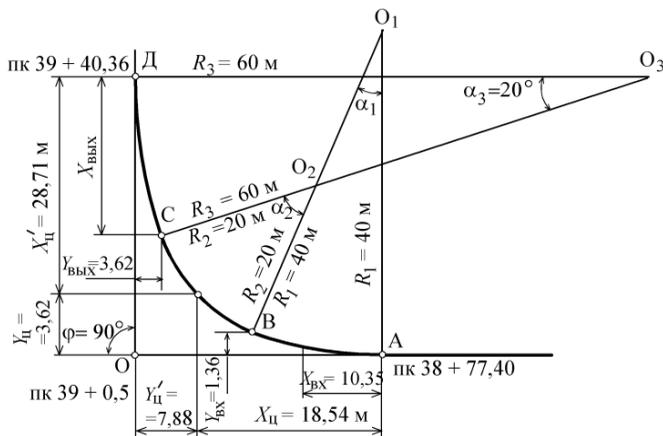


Рисунок 3.24 – Схема разбивочных координат

Длину входной и выходной кривых определяем по формулам (3.78) и (3.79), а по формулам (3.75)–(3.77) определяем координаты точек средней кривой при разбивке ее от входного и выходного тангенсов до середины.

От входного тангенса при $X_{вх} = 10,35$ м; $Y_{вх} = 1,36$ м; $R_2 = 20$ м; $\alpha_1 = 15^\circ$; $K = 11,0$ м

$$K_{вх} = (\pi \cdot 40 \cdot 15^\circ) / 180^\circ = 10,47 \text{ м}; \quad A_1^{вх} = [180^\circ \cdot (11 - 10,47)] / (\pi \cdot 20) = 1,51^\circ;$$

$$X_1^{ср\ вх} = 10,35 + 20 \cdot \sin 1,51^\circ - \cos 15^\circ - 20 \cdot (1 - \cos 1,51^\circ) \cdot \sin 15^\circ = 10,86 \text{ м};$$

$$Y_1^{ср\ вх} = 1,36 + 20 \cdot \sin 1,51^\circ \cdot \sin 15^\circ - 20 \cdot (1 - \cos 1,51^\circ) \cdot \cos 15^\circ = 1,49 \text{ м};$$

От выходного тангенса при $X_{вых} = 20,52$ м; $Y_{вых} = 3,62$ м; $R_2 = 20$ м; $\alpha_2 = 20^\circ$; $K = 21,0$ м

$$K_{вых} = (\pi \cdot 60 \cdot 20^\circ) / 180^\circ = 20,94 \text{ м}; \quad A_1^{вых} = [180^\circ \cdot (21 - 20,94)] / (\pi \cdot 20) = 0,17^\circ;$$

$$X_1^{ср\ вых} = 20,52 + 20 \cdot \sin 0,17^\circ \cdot \cos 20^\circ - 20 \cdot (1 - \cos 0,17^\circ) \cdot \sin 2^\circ = 20,58 \text{ м};$$

$$Y_1^{ср\ вых} = 3,62 + 20 \cdot \sin 0,17^\circ \cdot \sin 20^\circ - 20 \cdot (1 - \cos 0,17^\circ) \cdot \cos 20^\circ = 3,64 \text{ м}.$$

Значения координат точек кромки проезжей части средней кривой при последующих значениях K приведены в таблице 3.34.

Т а б л и ц а 3.34 – Ведомость детальной разбивки коробовой кривой

В метрах

				$X_{вх}^{ср}$	$Y_{вх}^{ср}$		$X_{вых}^{ср}$	$Y_{вых}^{ср}$		

K	X_{BX}	Y_{BX}	A_{BX}			$A_{BЫ}$			$X_{BЫ}$	Y_B
						x			x	x
1	1,00 0	0,01 2	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,99 9	0,05 0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2,99 7	0,11 2	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3,99 3	0,20 0	-	-	-	-	-	-	-	-
5	4,98 7	0,31 2	-	-	-	-	-	-	-	-
6	5,97 8	0,44 9	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6,96 4	0,61 1	-	-	-	-	-	-	-	-
8	7,94 7	0,79 7	-	-	-	-	-	-	-	-
9	8,92 4	1,00 8	-	-	-	-	-	-	-	-
10	9,89 6	1,24 4	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	1,51 3	10,8 61	1,49 3	-	-	-	-	-
12	-	-	4,37 7	11,8 12	1,70 2	-	-	-	-	-
13	-	-	7,24 2	12,7 47	1,86 1	-	-	-	-	-
14	-	-	10,1 07	13,6 63	1,97 2	-	-	-	-	-
15	-	-	12,9 72	14,5 57	2,03 2	-	-	-	-	-
16	-	-	15,8 37	15,4 28	2,04 2	-	-	-	-	-
17	-	-	18,7 01	16,2 74	2,00 3	-	-	-	-	-
18	-	-	21,5 66	17,0 91	1,91 3	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	20,2 14	26,5 94	4,82 4	-	-
	-	-	-	-	-	17,3	25,8	4,80	-	-

27						49	14	3		
26	-	-	-	-	-	14,4 85	25,0 04	4,73 2	-	-
25	-	-	-	-	-	11,6 20	24,1 66	4,61 1	-	-
24	-	-	-	-	-	8,75 5	23,3 02	4,41 1	-	-
23	-	-	-	-	-	5,89 0	22,4 14	4,22 1	-	-
22	-	-	-	-	-	3,02 5	21,5 04	3,95 3	-	-
21	-	-	-	-	-	0,16 1	20,5 74	3,63 8	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	19, 63 2	3, 30 3

Окончание таблицы 3.34

К	$X_{ВХ}$	$Y_{ВХ}$	$A_{ВХ}$	$X_{ВХ}^{ср}$	$Y_{ВХ}^{ср}$	$A_{ВЫ}$	$X_{ВЫХ}^{ср}$	$Y_{ВЫХ}^{ср}$	$X_{ВЫ}$	$Y_{В}$
						_x			_x	_x
19	-	-	-	-	-	-	-	-	18, 684	2, 98 3
18	-	-	-	-	-	-	-	-	17, 731	2, 68 0
17	-	-	-	-	-	-	-	-	16, 773	2, 39 2
16	-	-	-	-	-	-	-	-	15, 811	2, 12 1
15	-	-	-	-	-	-	-	-	14, 844	1, 86

										5
14	-	-	-	-	-	-	-	-	13,873	1,626
13	-	-	-	-	-	-	-	-	12,899	1,403
12	-	-	-	-	-	-	-	-	11,920	1,196
11	-	-	-	-	-	-	-	-	10,938	1,006
10	-	-	-	-	-	-	-	-	9,954	0,831
9	-	-	-	-	-	-	-	-	8,966	0,674
8	-	-	-	-	-	-	-	-	7,976	0,533
7	-	-	-	-	-	-	-	-	6,984	0,408
6	-	-	-	-	-	-	-	-	5,990	0,300
5	-	-	-	-	-	-	-	-	4,994	0,208
4	-	-	-	-	-	-	-	-	3,997	0,133
3	-	-	-	-	-	-	-	-	2,999	0,075
2	-	-	-	-	-	-	-	-	2,000	0,033
1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	0,

									00	00
										8

4 НАЗНАЧЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Так как при реконструкции автомобильных дорог изменяются параметры плана, продольного и поперечного профилей, то в курсовом проекте необходимо произвести корректировку дислокации дорожных знаков, направляющих устройств и ограждений, разметки проезжей части. Перечень дорожных знаков, места установки их, а также места установки дорожных ограждений и нанесения дорожной разметки приведены в стандартах [3, 4].

Для ориентирования водителя о направлении дороги на большое расстояние и обеспечения видимости внешнего края обочины в ночное время, во время дождя, тумана, снегопада устанавливаются направляющие устройства в виде сигнальных столбиков.

Сигнальные столбики устанавливаются вне населенных пунктов на автомобильных дорогах без искусственного освещения при условиях, когда не требуется установка дорожных ограждений первой группы (транспортные) [СТБ 1300-2014]:

- в пределах кривых в продольном профиле и на подходах к ним (по три столбика на подходе с каждой стороны дороги) при высоте насыпи 2 м и более, интенсивности движения не менее 2000 ед./сутки на расстояниях l_0 и l_1 , указанных в таблице 4.1 (рисунок 4.1), и на расстоянии l_2 , равном 50 м;

- в пределах кривых в плане и на подходах к ним (по три столбика на подходе с каждой стороны) при высоте насыпи 1 м и более, на расстояниях l_0 , l_1 и l_2 , указанных в таблице 4.2 (рисунок 4.2) и на расстоянии l_3 , равном 50 м;

- на прямолинейных участках дорог при высоте насыпи не менее 2 м и интенсивности движения не менее 2000 ед./сут через 100 м;

- на кривых сопряжений обозначенных перекрестков (пересечений и примыканий) автомобильных дорог в одном уровне – по три столбика: в начале, конце и в середине сопряжения ;

- на дорогах, расположенных на расстоянии до 15 м от болот и водотоков глубиной более 1 м при паводке, действующем на протяжении 15 сут. и более с 10 %-ной вероятностью превышения – через 20 м;

- на железнодорожных переездах – с обеих сторон переезда на участке от 2,5 до 16,0 м от крайних рельсов через каждые 1,5 м;

- у водопропускных труб по одному столбику с каждой стороны по оси трубы.

Т а б л и ц а 4.1 – Установка сигнальных столбиков на вертикальных кривых

Радиус кривой в продольном профиле R , м		500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000 и более
Расстояние между столбиками	в пределах кривой l_0	12	17	25	30	35	40	45	50
	на подходах к кривой l_1	20	27	40	47	50	50	50	50

Т а б л и ц а 4.2 – Расстояние между сигнальными столбиками на кривых в плане

Радиус кривой в плане R , м, не более	Расстояние между столбиками, м		
	на внешней стороне кривой l_0	на внутренней стороне кривой l_1	на подходах к кривой l_2
50	5	10	12
100	10	20	25
200	15	30	30
300	20	40	40
400	30	50	50
500	40	50	50
600 и более	50	–	–

В соответствии с исходными данными по инженерному обустройству существующей автомобильной дороги (см. приложение А, таблицу А.7) производится корректировка дислокации инженерного обустройства (таблица 4.3).

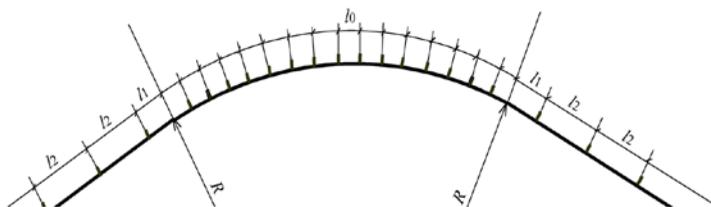


Рисунок 4.1 – Установка сигнальных столбиков на кривых в продольном профиле

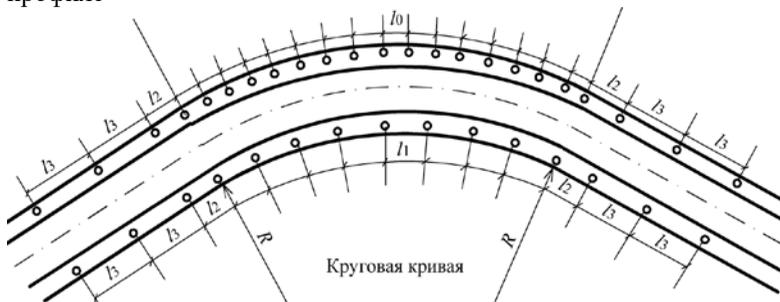


Рисунок 4.2 – Установка сигнальных столбиков на кривых в плане

Т а б л и ц а 4.3 – В е д о м о с т ь и н ж е н е р н о г о о б у с т р о й с т в а

Тип	Номер	До реконструкции		После реконструкции		Примечание
		количество, шт.	длина, м	количество, шт.	длина, м	
Сигнальные столбики	–	71	–	51	–	
Дорожные знаки	1.11.1	1	–	–	–	
	1.11.2	1	–	–	–	
	1.31.1	1	–	1	–	
	1.31.2	1	–	1	–	
	1.31.4	1	–	1	–	
	1.31.5	1	–	1	–	
	2.1	8	–	8	–	
	2.3.1	2	–	2	–	
	2.3.2	1	–	1	–	
	2.3.3	1	–	1	–	
5.2.8	3	–	3	–		

	5.29.1	1	–	1	–	
Дорожная раз-метка	1.1	–	–	–	240	
	1.5	–	3000	–	3000	
	1.6	–	–	–	600	
	1.7	–	–	–	150	
	1.8	–	–	–	814	

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Эффективность капитальных вложений определяется сопоставлением эффекта и затрат. Общая величина народнохозяйственного эффекта от совершенствования дороги включает [16]:

- экономический эффект, получаемый на автомобильном транспорте от снижения себестоимости перевозок в результате улучшения дорожных условий, сокращения расстояния перевозки грузов и времени пребывания пассажиров в пути;
 - косвенный экономический эффект от снятия короткопробежных грузов с железной дороги; от предприятий неавтотранспортных отраслей, расположенных в районе тяготения; от развития в районе тяготения дороги новых или реконструируемых предприятий; от улучшения культурных и административных связей и увеличения отчислений в государственный бюджет.
- При отсутствии достоверных исходных данных размер косвенных эффектов рекомендуется принимать ориентировочно в размере 30 % от экономического эффекта, получаемого на транспорте.

Снижение транспортных издержек происходит благодаря:

- снижению себестоимости перевозок;
- сокращению времени нахождения грузов и пассажиров в пути при увеличении скорости движения автомобилей.

5.1 Экономия от снижения транспортно-эксплуатационных расходов

Ежегодные транспортные расходы определяют на основе данных о перспективном объеме перевозок или интенсивности движения и себестоимости 1 т·км или 1 авт.км перевозок [17].

При вычислении транспортно-эксплуатационных расходов в зависимости от интенсивности движения используют формулу

$$C_{тэ} = 0,365NLS, \quad (5.1)$$

где N – среднегодовая суточная интенсивность движения, автомобилей в сутки;

L – протяженность дороги, км;

S – себестоимость перевозок, руб./авт.км,

$$S = S_{т} + S_{д}, \quad (5.2)$$

$S_{т}$ и $S_{д}$ – соответственно транспортная и дорожная составляющие себестоимости перевозок, руб./авт.км.

Экономия в транспортно-эксплуатационных расходах

$$\Delta C_{тэ} = C_{тэ(до)} - C_{тэ(после)}. \quad (5.3)$$

Экономия от изменения стоимости времени, затрачиваемого транспортными средствами на участке дороги

$$C_{тв} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{тв_i} S_{ч_i}, \quad (5.4)$$

где n – число типов автомобилей, принятых к рассмотрению;

$\Delta T_{тв_i}$ – экономия затрат времени всего потока автомобилей i -го типа, ч;

$S_{ч_i}$ – стоимость авточаса для определенного типа автомобилей, руб.

Экономия затрат времени всего потока автомобилей i -го типа

$$\Delta T_{тв_i} = T_{тв_i}^{до} - T_{тв_i}^{посл}, \quad (5.5)$$

где $T_{тв_i}^{до}$ и $T_{тв_i}^{посл}$ – соответственно время, затрачиваемое автомобилями i -го типа на участке до и после внедрения мероприятия, ч.

Расчеты могут вестись в среднем по всему транспортному потоку. Поэтому затраты времени на перегонах дорог можно определить исходя из средней скорости сообщения и длины участка L , км:

$$T_{тв} = \frac{365NL}{Rv}, \quad (5.6)$$

где R – корреляционный коэффициент связи – 0,01;

v – средняя скорость сообщения на участке дорог (принимается 0,85 от расчетной для технической категории), км/ч.

Экономия от изменения затрат времени пребывания в пути пассажиров (социальный эффект) определяется на основе времени, теряемого транспортными средствами за год:

$$\mathcal{E}_{пасс} = \Delta T_{тв} S_{п}(d_a q_a \eta_a + d_d q_d \eta_d), \quad (5.7)$$

где $\Delta T_{тв}$ – снижение временных потерь на задержки всех видов транспорта

за год, ед./ч;

$S_{\text{п}}$ – средняя величина потерь, приходящаяся на 1 ч пребывания в пути пассажиров и пешеходов, рассчитывается на основе среднего заработка, руб;

$d_{\text{а}}$ и $d_{\text{л}}$ – доля соответственно автобусов и легковых автомобилей;

$q_{\text{а}}$ и $q_{\text{л}}$ – пассажироместимость автобусов и легковых автомобилей соответственно, чел.;

$\eta_{\text{а}}$ и $\eta_{\text{л}}$ – средние коэффициенты наполнения соответственно автобусов и легковых автомобилей, принимают 70 % от общей пассажироместимости.

5.2 Экономический эффект за счет снижения потерь от ДТП

Потери народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий рассчитываются методом использования графиков коэффициентов аварийности (см. подразд. 2.1).

Экономическую эффективность реконструкции дороги за счет уменьшения потерь народного хозяйства от происшествий определяют по двум вариантам: при неизменных дорожных условиях (за исключением роста интенсивности движения) и с учетом изменения дорожных условий после реконструкции дороги. Разница потерь от происшествий за 20 лет покажет эффективность реконструкции за счет снижения количества происшествий. При подсчете потерь необходимо учесть рост интенсивности движения и изменение в связи с этим частного коэффициента аварийности k_1 и итогового коэффициента аварийности $K_{\text{ит}}$. После реконструкции интенсивность движения возрастет и k_1 изменится.

Вероятное число происшествий (z_i) в зависимости от итогового коэффициента аварийности ($K_{\text{ит}}$), выбираем по рисунку 5.1 до и после реконструкции. Ежегодный пробег для каждого участка определяется по формуле

$$L_{\text{год}} = 365NL_i. \quad (5.8)$$

Вероятное количество происшествий в год до и после реконструкции

$$Z = 365NL_i z_i. \quad (5.9)$$

С учетом средних потерь от одного происшествия (C_i) суммарные потери составят

$$C_{\text{дтпз}} = C_i Z. \quad (5.10)$$

Экономический эффект за счет снижения потерь народного хозяйства от происшествий определяется как разность потерь до и после.

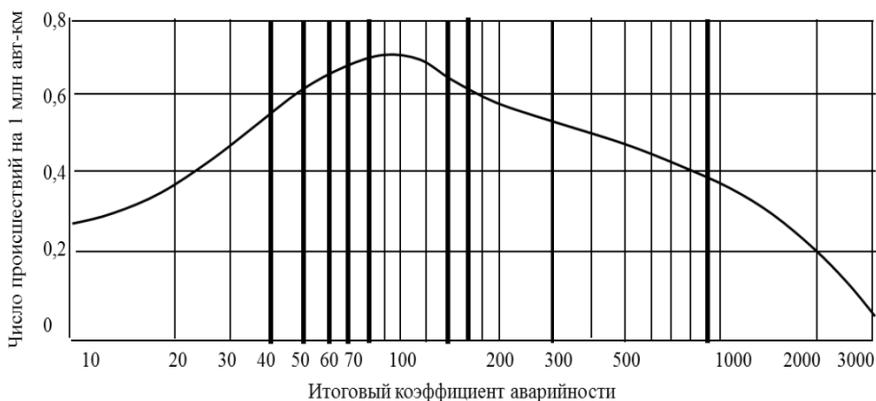


Рисунок 5.1 – Зависимость числа дорожно-транспортных происшествий (на 1 млн авт.км) от итогового коэффициента аварийности

5.3 Определение общей экономической эффективности капитальных вложений

При определении экономической эффективности капитальных вложений и обосновании вариантов различают общую (абсолютную) и сравнительную экономическую эффективность. Общую экономическую эффективность капитальных вложений E подсчитывают на стадиях планирования и проектирования и в качестве показателя принимают отношение экономии на годовых транспортно-эксплуатационных расходах к вызвавшим эту экономию капитальным вложениям, т. е. первоначальным затратам:

$$E = \frac{C_{\text{сущ}} - C_{\text{пр}}}{K}, \quad (5.11)$$

где $C_{\text{сущ}}$ и $C_{\text{пр}}$ – годовые суммарные расходы до и после осуществления капитальных вложений;

K – капитальные затраты на реконструкцию дороги.

Сроки окупаемости общего объема капитальных вложений вычисляют по формуле

$$T = \frac{1}{E} = \frac{K}{\Delta_{\text{сущ}} - \Delta_{\text{пр}}} \quad (5.1)$$

При определении экономической эффективности строительства (реконструкции) сети или отдельных дорог в процессе планирования нормативный коэффициент экономической эффективности принимается не менее $E_n = 0,2$ или нормативный срок окупаемости не более $T_n = 6$ лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. ТКП 45-3.03-19-2006 (02250) / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 42 с.
- 2 Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. ТКП 45-3.03-112-2008 (02250) / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2009. – 99 с.
- 3 **СТБ 1300-2014**. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Взамен СТБ 1300-2002; введ. 2008-06-01. – Минск : Госстандарт, 2014. – 118 с.
- 4 **СТБ 1140-99**. Знаки дорожные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 10807-78; введ. 2006-01-01. – Минск : Госстандарт, 1999. – 108 с.
- 5 ВСН 12–87 Определение максимальных расходов талых и ливневых вод на малых водотоках БССР. – Мн.: Миндорстрой БССР, 1987. – 58 с.
- 6 **Типовой проект 503-0-44**. Пересечение и примыкания автомобильных дорог в одном уровне. – М. : Союздорпроект, 1988. – 20 с.
- 7 **Ахраменко, Г. В.** Проектирование малых водопропускных сооружений на автомобильных дорогах : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 42 с.
- 8 **Ахраменко Г. В.** Проектирование плана и продольного профиля автомобильных дорог : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 92 с.
- 9 **Бабков, В. Ф.** Проектирование автомобильных дорог: в 2 ч. / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1987. – Ч. 1. – 368 с. Ч. 2. – 415 с.
- 10 **Власов, Д. И.** Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах / Д. И. Власов, В. М. Логинов. – М. : Транспорт, 1968. – 519 с.
- 11 **Довгелюк, Н. В.** Проектирование нежестких дорожных одежд : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Н. В. Довгелюк, А. В. Миненков. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 60 с.
- 12 **Митин, Н. А.** Таблицы для разбивки горизонтальных и вертикальных круговых кривых и закруглений с переходными кривыми на автомобильных дорогах / Н. А. Митин. – М. : Недра, 1961. – 470 с.
- 13 Изыскания и проектирование железных дорог. /**И.В. Турбин** [и др.], – М. : Транспорт, 1989. – 400 с.
- 14 **Яцевич, И. К.** Проектирование водопропускных сооружений на малом водотоке: учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 70.03.01 «Автомобильные дороги» / И. К. Яцевич. – Минск : БНТУ, 2006. – 49 с.
- 15 **Яцевич, И. К.** Методические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном уровне для студентов специ-

альности 29.10 «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» / И. К. Яцевич. – Минск : БПИ, 1990. – 59 с.

16 **Ахраменко, Г. В., Ахраменко, П. Г.** Техничко-экономическое обоснование проектов новых и реконструкции существующих автомобильных дорог : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко, П. Г. Ахраменко; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 59 с.

17 **Гарманов, Е. Н.** Методические рекомендации по определению величины и эффективности капитальных вложений в реконструкцию (строительство) автомобильной дороги / Е. Н. Гарманов, А. П. Владимиров, Н. П. Добрякова. – М. : МАДИ (ГТУ), 2010. – 57 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Исходные данные для проектирования автодороги

Район проектирования – Могилевская область.

Категория дороги – IV.

Грунтовые условия: 0,00 м–0,15 м – растительный слой;
0,15 м–1,20 м – суглинок пылеватый;
1,20 м и глубже – глина пылеватая.

Уровень грунтовых вод расположен на возвышенных формах рельефа на 1,2 м, в пониженных – на 0,8 м.

Высота снежного покрова – 0,60 м.

Грунты земляного полотна – суглинок легкий пылеватый.

Ширина земляного полотна – 10,0 м.

Ширина проезжей части – 6,0 м.

Коэффициент ежегодного прироста интенсивности движения $\beta = 0,05$.

Т а б л и ц а А.1 – Данные полевого обследования

Пикет	+	Отметки земли	Отметки оси проезжей части	Пикет	+	Отметки земли	Отметки оси проезжей части
15		285,20	286,18	30	50	284,11	285,27
16		284,63	285,48	31		284,24	285,27
17		283,79	284,78	32		284,15	285,27
18		283,00	284,36	33		283,22	285,12
19		283,21	284,60	34		283,63	284,97
19	56	282,74	284,74	35		283,99	284,32
20		282,80	284,70	36		283,32	284,19
21		282,96	284,61	37		281,65	283,19
22		283,31	284,52	38		280,76	282,19
23		284,24	285,42	39		280,62	282,09
24		285,34	286,32	39	05	280,64	282,09
25		285,92	286,77	40		280,43	281,99
26		285,92	286,77	41		279,96	281,77
27		285,63	286,77	42		280,08	281,35
27	45	284,50	286,55	43		279,14	281,35
28		284,77	286,27	44		279,74	281,15
29		284,63	285,77	45		279,64	281,10
30		284,70	285,27				

Т а б л и ц а А.2 – План дороги

Направление кривой	R, м	α , град	Начало кривой	Длина переходных кривых	Уклон виража, ‰
Право	360	34	пк 19 + 22,25	–	40
Лево	700	45	пк 20 + 36,00	–	40

Т а б л и ц а А.3 – Водопронусные сооружения

Пикет	+	Тип ИССО	Площадь бассейна,	Уклон лога, ‰	Длина главного

			км ²		лога, км
19	56	Ж.б. труба отв.1,2 м	3,1	15	3,2
43	00	Ж.б. труба отв.1,0 м	2,1	12	2,8

Т а б л и ц а А.4 – **Интенсивность движения**

Марка автомобиля	Интенсивность движения, авт/сут	Грузоподъемность, т
Легковые: ВАЗ– 2107	220	–
	200	–
ГАЗ– 24		
Грузовые: ГАЗ–53 ЗИЛ–130 МАЗ– 500А КаМАЗ– 5320	220	4,0
	240	5,0
	180	8,0
	140	8,0
Автобусы	65	–
Автопоезда из тягачей и прицепов	45	20

Т а б л и ц а А.5 – **Дорожная одежда**

Наименование слоя	Толщина слоя, м
Подобранная щебеночная смесь	0,04
Гравийная смесь	0,25
Песок природный	0,30

Группа нагрузок для расчета дорожной одежды – А₂.

Характеристика существующей дорожной одежды:

- фактический модуль упругости дорожной одежды – 152 МПа;
- процент дефектности дорожной одежды DP – 0,25;
- фактический индекс ровности IRI_{ϕ} – 5,1;
- несущая способность рабочей зоны земляного полотна – достаточна;
- морозостойкость и дренажная способность существующей дорожной одежды – недостаточна.

Т а б л и ц а А.6 – **Пересечения и примыкания**

Пикет	+	Категория пересекаемой (примыкаемой) дороги	Угол пересечения (примыкания)	Тип пересечения (примыкания)
27	45	IV	95 (примыкание)	Обыкновенное
39	05	III	90 (пересечение)	Обыкновенное

Т а б л и ц а А.7 – Инженерное обустройство

Тип	Номер	Количество, шт.	Длина, м
Сигнальные столбики	–	71	–
Дорожные знаки	1.11.1	1	–
	1.11.2	1	–
	1.31.1	1	–
	1.31.2	1	–
	1.31.4	1	–
	1.31.5	1	–
	2.1	8	–
	2.3.1	2	–
	2.3.2	1	–
	5.28	3	–
5.29.1	1	–	
Дорожная разметка	1.5	–	3000

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Характеристики грунтов земляного полотна и материалов дорожной одежды

Таблица Б.1 – Расчетные значения модуля упругости E_y , угла внутреннего трения ϕ , внутреннего сцепления C пылевато-глинистых грунтов и пылеватых песков

Вид грунта	Число пластичности J_p , %	Содержание песчаных зерен (2–0,5 мм), % по массе	Показатель	Расчетные значения характеристик грунта в зависимости от влажности W_p , %						
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
Песок										
Крупный (в том числе ПГС по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) до 30 %)			E_y , МПа	130,0						
			ϕ	35 °						
			C , МПа	0,004						
			E_y ,	120,0						

Средней крупности			МПа										
			φ	32 °									
			C, МПа	0,004									
Мелкий			E_y , МПа	100,0									
			φ	31 °									
			C, МПа	0,003									
Однород- ный			E_y , МПа	75,0									
			φ	31 °									
			C, МПа	0,003									
Пылеватый			E_y , МПа	96,0	90,0	84,0	78,0	72,0	60, 0	60, 0	54,0	48, 0	
			φ	38 °	38 °	37 °	37 °	36 °	35 °	34 °	33 °	32 °	
			C, МПа	0,026	0,02 4	0,022	0,018	0,01 4	0,0 12	0,0 11	0,01 0	0,0 09	

Продолжение таблицы Б.1

Вид грунта	Чис- ло	Содержа- ние пес-		Расчетные значения характеристик грунта в зависимости от влажности W_p , %								
------------	------------	----------------------	--	---------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

	пла- стич- но- сти J_p , %	чаных зе- рен (2–0,5 мм), % по массе	По- каза- тель	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,7 5	0,8 0	0,85	0,9 0
Супесь												
Крупная легкая	1–7	Более 50	E_y , МПа	108,0	108, 0	100,0	100, 0	79, 0	69, 0	62, 0	54,0	50, 0
			φ	32 °	30 °	29 °	28 °	27 °	26 °	25 °	23 °	22 °
			C , МПа	0,022	0,01 6	0,014	0,01 3	0,0 11	0,0 10	0,0 07	0,00 5	–
Пылеватая	1–7	Более 50	E_y , МПа	108,0	108, 0	100,0	100, 0	79, 0	69, 0	62, 0	54,0	50, 0
			φ	32 °	30 °	29 °	28 °	27 °	26 °	25 °	23 °	22 °
			C , МПа	0,022	0,02 0	0,014	0,01 3	0,0 11	0,0 10	0,0 07	0,00 5	–
Суглинок												
Легкий непылева- тый	7–12	Более 40	E_y , МПа	108,0	100, 0	77,0	64,0	52,0	42, 0	34, 0	27,0	23, 0
			φ	27 °	25 °	23 °	21 °	19 °	18 °	16 °	13 °	11 °
			C , МПа	0,035	0,02 6	0,024	0,01 8	0,01 4	0,0 11	0,0 09	0,00 6	0,0 04
			E_y ,	108,0	100,	77,0	64,0	52,0	42,	34,	27,0	23,

Легкий пылеватый	7–12	Менее 40	МПа		0				0	0		0
			ϕ	28 °	25 °	23 °	21 °	19 °	18 °	16 °	13 °	11 °
			C, МПа	0,040	0,030	0,025	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,005
Тяжелый непылеватый	12–17	Более 40	E_y , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0
			ϕ	25 °	22 °	20 °	18 °	15 °	13 °	10 °	7 °	–
			C, МПа	0,050	0,035	0,030	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
Тяжелый пылеватый	12–17	Менее 40	E_y , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0
			ϕ	25 °	22 °	20 °	18 °	15 °	13 °	10 °	7 °	–
			C, МПа	0,050	0,035	0,030	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007

Окончание таблицы Б.1

Вид грунта	Число пластичности J_p , %	Содержание песчаных зерен (2–0,5 мм), % по	Показатель	Расчетные значения характеристик грунта в зависимости от влажности W_p , %									
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	

		массе										
Глина												
Легкая непылеватая	17–27	Более 40	E_y , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24, 0	17, 0	10,0	5,0	–
			ϕ	23 °	20 °	17 °	15 °	12 °	8 °	3 °	–	–
			C , МПа	0,060	0,04 0	0,032	0,02 4	0,0 20	0,0 20	0,01 0	0,00 8	0,0 07
Легкая пылеватая	17–27	Менее 40	E_y , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24, 0	17, 0	10,0	5,0	–
			ϕ	23 °	20 °	17 °	15 °	12 °	8 °	3 °	–	–
			C , МПа	0,060	0,04 0	0,032	0,02 4	0,0 20	0,0 20	0,01 0	0,00 8	0,0 07
Тяжелая	Св. 27	Не нор- мирует- ся	E_y , МПа	70,0	48,0	34,0	24,0	16, 0	10, 0	5,0	4,0	–
			ϕ	22 °	19 °	16 °	13 °	10 °	5 °	–	–	–
			C , МПа	0,060	0,04 4	0,034	0,02 5	0,0 20	0,0 15	0,01 0	0,00 6	–

Т а б л и ц а Б.2 – Среднее значение влажности грунта $W_{таб}$

Дорожно-климатический район	Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности грунта $W_{таб}$ в долях от W_T			
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий	Супесь и суглинок пылеватые
1	1	0,63	0,65	0,68	0,73
	2	0,66	0,68	0,71	0,76
	3	0,68	0,70	0,73	0,78
2	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75
3	1	0,65	0,67	0,70	0,75
	2	0,68	0,70	0,73	0,78
	3	0,70	0,72	0,75	0,80
<p><i>Примечание</i> – Расчетные схемы увлажнения верхней части земляного полотна приведены в ТКП 45-3.03-19.</p>					

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

96

Расчетные значения прочностных конструктивных слоев дорожных формационных характеристик

Т а б л и ц а В.1 – Характеристики альтобетонов и эмульсионно-минеральных смесей при растяжении при изгибе под кратковременными нагрузками

Вид материала	Расчетные значения модуля упругости E_v , МПа	m	α	Прочность на растяжение при изгибе $R_{из}$, МПа
Горячие асфальтобетоны				
Плотный, на битуме, модифицированном терморезактивными полимерами	6100	7,0	3,0	14,0
Плотный, на резинобитумном вяжущем	5800	6,9	3,2	13,8
Плотный, на битуме, модифицированном полимерами СБС	5500	6,9	3,3	13,0
Щебеночно-мастичный, на битуме БНД/БН марки: 60/90 90/130	5600	5,5	5,1	11,0
	4800	5,0	5,30	10,5
Плотный, на битуме БНД/БН марки: 60/90 90/130 130/200	4500	5,5	4,3	9,8
	3600	5,0	4,8	9,5
	2600	4,5	5,4	9,3
Пористый, на битуме				

БНД марки:				
60/90	2800	4,3	8,2	8,0
90/130	2200	4,0	8,6	7,8
130/200	1800	3,8	9,0	7,6
200/300	1400	3,7	9,6	7,1
Высокопористый, на битуме БНД марки:				
60/90	2100	4,0	9,3	5,8
90/130	1700	3,8	9,8	5,5
Холодные асфальтобетоны				
Тип Б _х	2600	3,0	8,0	4,9
Тип В _х	2200	2,5	9,8	4,6
Тип Г _х	1800	2,0	13,2	4,2
Тип Д _х	1500	2,0	13,2	3,9
Эмульсионно-минеральные смеси	2200	3,8	8,8	6,5
<i>Примечание</i> – Характеристики плотных асфальтобетонов даны для типа А. Для типов В и Д значения E_y и R_n уменьшают в 1,15 раза. Для асфальтобетонов типа Б и Г значения E_y и R_n увеличивают в 1,15 и 1,20 раза соответственно.				

Т а б л и ц а В.2 – Значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов и эмульсионно-минеральных смесей при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости E_y , МПа, при температуре покрытия, °С		
		10	20	50
Щебеночно-мастичный асфальтобетон	Вязкий БНД/БН:	3700	2100	530
	60/90 90/130	2700	1400	460
Плотный асфальтобетон	Модифицированный	4000	2350	660
	Вязкий БНД/БН:	3200	1800	460
		2400	1200	420
		1500	800	380
1200		600	360	

	130/200 200/300			
	Жидкий: БГ 70/130 СГ 130/200 СГ 70/130	1000 1000 800	420 420 360	350 350 350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкий БНД/БН: 60/90 90/130 130/200 200/300	2000 1400 1100 950	1200 800 600 450	360 350 340 330
Холодные асфальтобетоны: тип Б _х ” В _х ” Г _х ” Д _х		1300 1100 900 750	– – – –	– – – –
Эмульсионно-минеральные смеси		1800	1000	340

Примечания

1 Модули упругости плотного асфальтобетона на модифицированном битуме даны для случая его модификации термоэластичными полимерами типа СБС. В случае применения резинобитумных вяжущих значение E_y уменьшают в 1,05 раза. Для терморезистивных полимеров значение E_y уменьшают в 1,20 раза.

2 Модули упругости плотных асфальтобетонов даны для типа А. Для асфальтобетонов типов В и Д значение E_y уменьшают в 1,10 раза. Для асфальтобетонов типов Б и Г значение E_y увеличивают в 1,10 и 1,15 раза соответственно.

3 При использовании плотного асфальтобетона в нижнем слое покрытия на глубине более 4 см от поверхности его модуль упругости E_y при 10 °С увеличивают в 1,15 раза.

4 Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей увеличивают в 1,10 раза, а для крупнозернистых – в 1,20 раза.

Т а б л и ц а В.3 – Значение модуля упругости при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси	Расчетный модуль упругости при статическом действии нагрузки E_y , МПа, при расчетной температуре, °С	
		20	50
Плотные смеси	ЩМСц, А	480	300
	Б	400	250
	В	320	200
	Г	300	200
	Д	200	150
Пористые и высокопористые смеси	Крупнозернистая	360	250
	Мелкозернистая	290	200
	Песчаная	250	190
Холодные асфальтобетоны	тип Б _х	180	–
	” В _х	170	–
	” Г _х	160	–
	” Д _х	150	–

Т а б л и ц а В.4 – Характеристики асфальтобетона при расчете на сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев

Наименование материала	Угол внутреннего трения φ	Внутреннее сцепление C , МПа
Асфальтобетон щебеночно-мастичный	43°	0,28
Асфальтобетон крупнозернистый горячий пористый	39°	0,29
То же мелкозернистый	38°	0,27
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный: типа А	39°	0,27
” Б		0,31
” В		0,33
” Г		0,37
” Д		0,35
Асфальтобетон крупнозернистый		

горячий плотный: типа А	38°	0,29
” Б	37°	0,33
Вибролитой асфальт	32°	0,34
<p><i>Примечание</i> – Характеристики приведены для битума БНД/ 90/130. При применении битума БНД 60/90 и БМА 100/130 показатели ϕ увеличивают в 1,05 раза, C – в 1,20 раза. При применении битума БМА 70/100 показатели ϕ увеличивают в 1,06 раза, C – в 1,40 раза.</p>		

Т а б л и ц а В.5 – Расчетные характеристики слоев из материалов и грунтов, укрепленных вяжущими материалами

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов		
	модуль упругости E_y , МПа	прочность на растяжение при изгибе $R_{и}$, МПа	
Щебеночно-песчаные смеси из малоактивных металлургических шлаков по ГОСТ 3344 (С1 – С4/С5 – С6), щебеночно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (оптимального по СТБ 1698 / неоптимального состава), обработанные: цементом марок:	1000/900	0,70/0,60	
	900/800	0,60/0,50	
	75	700/600	0,50/0,40
	60	950/700	0,40/0,30
	40		
комплексным вяжущим вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	450/350	0,30/0,20	
Щебень из малопрочных пород, доломитовый щебень, пески гравелистые, крупные, средние, обработанные: цементом марок:	950	0,60	

100	850	0,50
75	750	0,40
60	600	0,30
40	500	0,20
20	450	0,30
комплексным вяжущим вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	280	0,20
Пески мелкие, супесь легкая, пы- леватая, суглинок легкий, пески из отходов дробления горных пород, обработанные:		
цементом марок:	850	0,50
100	750	0,40
75	550	0,30
60	400	0,20
40	250	0,15
20	400	0,30
комплексным вяжущим вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	270	0,25

Окончание таблицы В.5

Материал слоя	Расчетные характеристики матери- алов	
	модуль упру- го- сти E_y , МПа	прочность на растя- жение при изгибе R_n , МПа
Суглинки тяжелые, пылеватые, глины песчанистые, пылеватые, обработанные:	250	0,15
комплексным вяжущим вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	150	0,10

Т а б л и ц а В.6 – Расчетные характеристики слоев из неукрепленных материалов

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов		
	Модуль	Внутреннее	Угол внут-

	упругости слоя E_y , МПа	сцеп- ление C , МПа	реннего трения ϕ
Черный щебень марки 1000 и выше крупностью до 40 мм, уложенный по способу заклинки	900	–	–
Фракционированный ще- бень марки 1000 и выше, устроенный по способу пропитки: вязким битумом или эмуль- сией на вязком битуме цементно-песчаной сме- сью марки М75 при глу- бине пропитки более 0,5 толщины слоя	600	–	–
	500	–	–
Каменная мостовая: из колотого камня из булыжного камня	500	–	–
	400	–	–
Щебеночно-песчаные шлаковые смеси типов С1 – С6 из малоактивных металлургических шлаков по ГОСТ 3344	400	–	–
Фракционированный ще- бень марки 1000 и выше (из осадочных пород/из глубинных пород), круп- ностью до 70 мм, опти- мального зернового со- става по СТБ 1698, устро- енный по способу заклин- ки: известняковой смесью, фосфогипсом асфальтогранулятором по СТБ 1705	450/350	0,07/0,06	48°/45°
	440/330	0,06/0,05	45°/44°

Окончание таблицы В.6

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов		
	Модуль упругости слоя E_y , МПа	Внутреннее сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ
фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	400/300	0,05/0,04	43°/42°
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси по ГОСТ 25607: типов С1 – С2 ” С3 – С11	240 200	0,03 0,02	43° 42°
Асфальтогранулят по СТБ 1705: типа А 1 ” А 2	240 220	0,05 0,05	46° 44°
Фракционированный доломитовый щебень марки 600 и выше оптимального зернового состава по СТБ 1698, устроенный по способу заклинки: асфальтогранулятом по СТБ 1705	240	0,03	46°
фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	200	0,03	44°
Щебеночно-песчаные смеси оптимального зернового состава по СТБ 1698 крупностью до 40 мм, песчано-гравийные смеси по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) более 30 %, минеральный бетон из гранитного отсева, из малопрочных известняков, доломитов малоперекристаллизованных, в том числе с остекленной поверхностью	180	0,02	41°

Примечание – При армировании основания дорожной одежды синтетическими геосетками, поверхностная плотность которых не менее 350 г/м²; предел прочности при растяжении (в продольном и поперечном направлениях) – не менее 30 кН/м; относительное удлинение волокон при разрыве (в продольном и поперечном направлениях) – не более 16 %; модуль упругости слоя основания E_y допускается увеличивать в соответствии с действующими ТНПА.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(рекомендуемое)

Поперечные профили земляного полотна

