

В.В. ЛУКША, П.В. ШВЕДОВСКИЙ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ,
МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**
(курс лекций)

Часть 1

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским Советом
Учреждения образования «Брестский государственный технический
университет» в качестве пособия для студентов дневной
и заочной форм обучения по специальностям
Т 19 03 00 «Строительство дорог и транспортных объектов»
и 70 03 01 «Автомобильные дороги»*

Брест 2004

УДК 625.72 (075.8)
ББК 94.311
Л13

Рецензент: Начальник отдела содержания автомобильных дорог
и безопасности движения ГП «Бреставтодор» **О.Р. Чумичев**

Лукша В.В., Шведовский П.В.

Л13 Проектирование автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений (курс лекций). Часть 1. – Брест: Издательство БГТУ, 2004. – 262 с., илл. 208, табл. 60, библи. 12 назв.

ISBN 985-6584-96-5

Рассмотрены общие вопросы проектирования автомобильных дорог, их краткая история развития, техническая классификация и современное состояние автомобильных дорог Беларуси. Изложены основные теории транспортных потоков и приведены методики расчета движения автомобилей. Особое внимание уделено вопросам проектирования плана, продольного и поперечных профилей автомобильных дорог, а также расчетам дорожных одежд. Детально рассмотрены вопросы проектирования сооружений дорожного водоотвода, малых водопропускных сооружений, а также основы проектирования пересечений и примыканий автомобильных дорог.

Излагаемые методы проектирования основываются на современных нормативных документах и учитывают научно-технические достижения в этой области в ближнем и дальнем зарубежье.

Издание предназначено для студентов автомобильно-дорожных специальностей и факультетов, но может быть использовано также инженерами и техниками дорожных организаций в их практической деятельности.

Контактный email: vvl@bstu.by (Лукша В. В.).

УДК 625.72 (075.8)
ББК 94.311

ISBN 985-6584-96-5

© Лукша В.В., 2004
© Шведовский П.В., 2004
© Издательство БГТУ, 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

стр.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ.....	6
1.1. Развитие транспорта и техники дорожного строительства	6
1.2. Роль автомобильных дорог в транспортной системе народного хозяйства и задачи дорожного строительства.....	11
1.3. Состояние автомобильных дорог Беларуси.....	13
1.4. Основные нормативные документы на проектирование автомобильных дорог	16
2. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....	17
2.1. Элементы автомобильной дороги.....	17
2.2. Техническая классификация автомобильных дорог	18
3. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ДОРОГАМ.....	22
3.1. Характеристика движения по автомобильной дороге.....	22
3.2. Сопротивление движению автомобиля	24
3.3. Динамические характеристики автомобиля	27
3.4. Сцепление шин с поверхностью дороги	31
3.5. Продольные уклоны, преодолеваемые автомобилем.....	33
3.6. Особенности движения автомобиля по криволинейному продольному профилю.....	36
3.7. Торможение автомобиля.....	38
3.8. Особенности тяговых расчетов автопоездов	40
3.9. Расход топлива и износ шин в зависимости от дорожных условий	41
4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.....	44
4.1. Характеристики режимов движения потоков автомобилей	44
4.2. Основные теории транспортных потоков	47
4.3. Пропускная способность дороги	48
4.4. Загрузка дорог движением и пропускная способность полосы движения.....	52
4.5. Технические условия на проектирование.....	53
5. ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ. ВИДИМОСТЬ ДОРОГИ В ПЛАНЕ	54
5.1. Элементы плана дороги	54
5.2. Особенности движения автомобиля по кривым.....	55
5.3. Коэффициент поперечной силы.....	56
5.4. Назначение радиусов кривых в плане	59
5.5. Переходные кривые.....	60
5.6. Уширение проезжей части на кривых	62
5.7. Виражи.....	63
5.8. Требования к видимости на дорогах	66
5.9. Обеспечение видимости на кривых в плане.....	67
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ПЛАНЕ.....	69
6.1. Учет интенсивности и объема грузопотоков при выборе направления трассы	69
6.2. Учет местных условий при выборе направления трассы.....	71
6.3. Учет снеготаносимости при проложении трассы	73
6.4. Пересечение водотоков.....	75
6.5. Преодоление подъемов и развитие линии на склонах	77
6.6. Проложение трассы дороги вблизи населенных пунктов.....	78
6.7. Обеспечение пространственной плавности трассы. Основы ландшафтного проектирования.....	80
7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.....	85
7.1. Элементы продольного профиля дороги.....	85
7.2. Нормирование продольных уклонов на дорогах	88
7.3. Вертикальные кривые	89
7.4. Нанесение проектной линии	91
7.5. Последовательность проектирования продольного профиля	92
7.6. Назначение контрольных точек и руководящих рабочих отметок.....	94

7.7. Определение объемов земляных работ.....	96
7.8. Установление дальности перевозки грунта.....	99
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ	101
8.1. Элементы поперечного профиля дороги.....	101
8.2. Основные параметры элементов поперечного профиля.....	105
8.3. Расчет ширины проезжей части и обочин	105
8.4. Параметры поперечных профилей дополнительных и переходно-скоростных полос	107
8.5. Полоса отвода.....	108
9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	110
9.1. Общие требования.....	110
9.2. Поддерживающие и защитные устройства и конструкции.....	113
9.3. Дорожно-строительная классификация грунтов	114
9.4. Требования к плотности и влажности грунтов.....	115
9.5. Дорожно-климатическое районирование.....	116
9.6. Водно-тепловой режим земляного полотна и способы его регулирования.....	118
9.7. Оценка устойчивости земляного полотна.....	124
10. СООРУЖЕНИЯ ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА	129
10.1. Система дорожного водоотвода	129
10.2. Общие правила проектирования поверхностного водоотвода.....	129
10.3. Сооружения поверхностного водоотвода.....	130
10.4. Принципы расчета дорожных канав и кюветов	136
10.5. Система отвода подземных вод.....	137
10.6. Основы расчета дренажа	142
11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ	144
11.1. Общие положения.....	144
11.2. Водопропускные трубы на автомобильных дорогах	145
11.3. Определение расчетных расходов	147
11.4. Расчет отверстий труб.....	149
11.5. Учет аккумуляции ливневых вод перед малыми водопропускными сооружениями.....	150
11.6. Расчет отверстий малых мостов и определение высоты сооружений	152
11.7. Косогорные сооружения поверхностного водоотвода	153
11.8. Режимы протекания потоков за малыми водопропускными сооружениями.....	157
11.9. Гидравлические расчеты нижнего бьефа малых искусственных сооружений	159
11.10. Расчет размывов за укреплениями.....	161
12. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ.....	164
12.1. Виды переходов через водотоки.....	164
12.2. Деление рек по видам питания и типам руслового процесса.....	168
12.3. Основные положения проектирования мостовых переходов.....	169
13. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	172
13.1. Конструктивные слои дорожной одежды.....	172
13.2. Виды покрытий.....	173
13.3. Классификация дорожных одежд.....	176
13.4. Принципы конструирования дорожных одежд и выбора материалов для них.....	178
13.5. Расчетные характеристики грунтов и материалов конструктивных слоев дорожных одежд.....	183
13.6. Методы экспериментального определения деформационных и прочностных характеристик материалов и грунтов.....	186
14. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД.....	194
14.1. Нагрузка на дорожную одежду.....	194
14.2. Прочность жестких дорожных одежд	195
14.3. Расчет жестких дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу	200
14.4. Расчет жестких дорожных одежд по сдвигу.....	204

14.5. Расчет нежестких дорожных одежд на растяжение при изгибе	208
14.6. Проектирование осушения дорожных одежд	211
14.7. Обеспечение морозоустойчивости дорожной одежды	214
14.8. Проектирование усиления дорожной одежды	216
14.9. Обследование дорожных одежд	220
14.10. Оценка прочности дорожной одежды по упругому прогибу	223
14.11. Методы расчета дорожных одежд, используемые за рубежом	227
15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	229
15.1. Область применения. Основные виды покрытий	229
15.2. Общие требования к жестким дорожным одеждам	230
15.3. Конструирование бетонных покрытий	232
15.4. Основные положения расчета цементобетонных покрытий по условию трещиностойкости	236
15.5. Основные критерии расчета жестких дорожных одежд	240
16. ПЕРЕСЕЧЕНИЯ И ПРИМЫКАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	246
16.1. Пересечения дорог в одном уровне	246
16.2. Переходно-скоростные полосы	250
16.3. Простейшие пересечения и примыкания дорог в разных уровнях	251
16.4. Требования к элементам пересечений в разных уровнях	255
16.5. Сложные пересечения в разных уровнях	256
16.6. Пересечения автомобильных дорог с железными дорогами и коммуникациями	259
Литература	262

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

1.1. Развитие транспорта и техники дорожного строительства

Проектирование автомобильных дорог – учебная дисциплина, рассматривающая принципы технико-экономического обоснования размеров всех элементов дороги на основе комплексного учета ее народнохозяйственного значения, природных условий и требований эффективности, экономичности и безопасности автомобильных перевозок, а также методы выбора направления дороги на местности и составления проекта ее строительства.

Техника строительства автомобильных дорог имеет многовековую историю. Конструкции дорог и методы их сооружения претерпевали значительные изменения на разных этапах развития человеческого общества, совершенствуясь по мере развития производительных сил и изменения производственных отношений, а также накопления опыта и знаний в близких отраслях техники. На первых этапах техника дорожного строительства во многом опиралась на опережавшую ее технику строительства зданий.

Дороги, как и другие пути сообщения, всегда являлись важным элементом в жизни общества. Отношение к ним менялось в зависимости от потребностей в перевозках, их направления, требований к их регулярности и бесперебойности. Нарушения соответствия между количеством груза, возможностями транспортных средств и транспортными качествами пути всегда вызывало прекращение или разворачивание дорожного строительства. Требования к дорогам последовательно определяли:

- гонец со срочным донесением;
- купец с вьюком товаров на спине лошади;
- отряды воинов и вооруженных всадников;
- боевая двухколесная колесница;
- груженная четырехколесная телега;
- автомобиль – средство механизированного транспорта.

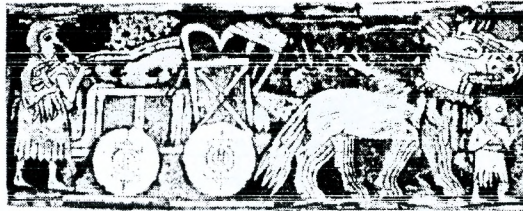
Зарождение дорог относится к раннему периоду существования человеческого общества, когда люди, объединявшиеся для охоты или рыбной ловли, избирали наиболее удобные и кратчайшие направления, прокладывая по ним пешеходные тропы. От переправы через водотоки по поваленным ветром деревьям постепенно перешли к сознательному устройству переходов из срубленных деревьев. Приручение животных и перевозка грузов вьюками или волоком на привязанных жердях предъявили первые требования к пути – обеспечение необходимых для прохода животных ширины тропы и высоты свободного пространства над ней. На заболоченных низинах начали укладывать настилы из хвороста и жердей, делать наброски камней на подходах к бродам – прототипы современных дорожных одежд.

Появление примерно за 4-5 тыс. лет до нашей эры колеса явилось крупнейшим достижением техники и намного ускорило развитие транспорта, предъявив одновременно новые требования к пути. Возможность перевозить на колесных повозках более тяжелые грузы, чем вьюками, заставила обращать большее внимание на выбор направления дороги, избегать крутых подъемов, обходить заболоченные места, сыпучие пески и другие участки с большим сопротивлением движению. Постепенно шло совершенствование конструкции колеса от грубого диска, сколоченного из брусьев, к колесу с ободом и спицами (рис. 1.1).

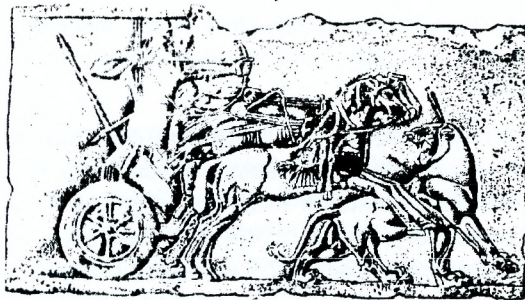
Дороги как средство регулярных сообщений и перевозки на дальние расстояния возникли в рабовладельческих государствах древнего мира – Ассирии, Вавилоне, Персии, Римской империи. Для ведения войн, подавления часто вспыхивавших восстаний и вывоза пленных требовались дороги, связывающие центр страны и ее окраины. *Таким образом, переход от пешеходных и вьючных троп к относительно благоустроенным сухопутным путям сообщения был связан с ростом перевозок и военно-административными потребностями.*

Первые дороги с твердыми покрытиями из каменных плит возникли на городских улицах, по которым происходили торжественные религиозные шествия (рис. 1.2).

Высокий уровень техники дорожного строительства был достигнут в Римской империи, которая в период наибольшего своего расцвета занимала территорию современной Западной Европы, балканского полуострова и североафриканского побережья Средиземного моря. Сеть военных римских дорог, созданная за шесть столетий, достигала 90 тыс. км, из которых только 14 тыс. км были расположены в пределах современной Италии (рис. 1.3).



а)



б)



в)

Рис. 1.1. Развитие конструкции колес: а – шумерийская боевая повозка на колесах, сколоченных из брусьев (X-XV в. до н.э.); б – боевая ассирийская колесница на колесах со спицами (VII в. до н.э.); в – римская повозка с мозаичного настенного изображения в Остии (конец III века н.э.)

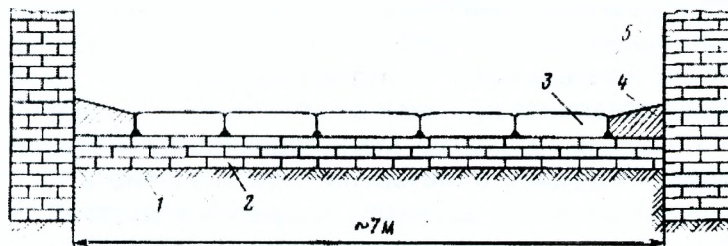


Рис. 1.2. Поперечный профиль дороги к храму в Вавилоне (VI в. до н.э.): 1 – суглинистый грунт; 2 – три слоя кирпича на асфальтовой мастике; 3 – известняковые плиты 105x105x35 см; 4 – тротуар из плит известняка 66x66x20 см; 5 – стены высотой 7 м, покрытые мозаичными картинами



Рис. 1.3. Сеть основных дорог Римской империи в конце III в. н.э.: 1 – границы Римской империи; 2 – магистральные дороги

Если учесть второстепенные грунтовые и гравийные дороги, то протяженность дорожной сети Римской империи можно оценить в 150 тыс. км. Основные римские дороги имели прочные каменные покрытия из гравия, булыжного и тесаного камня, на которые иногда расходовали больше каменных материалов, чем на современные автомобильные магистрали (рис. 1.4). Через многие реки были построены большие каменные арочные мосты. Фрагменты многих из них сохранились в Италии, Франции и Испании. Строительство таких крупных сооружений была возможна только при массовом использовании труда рабов.

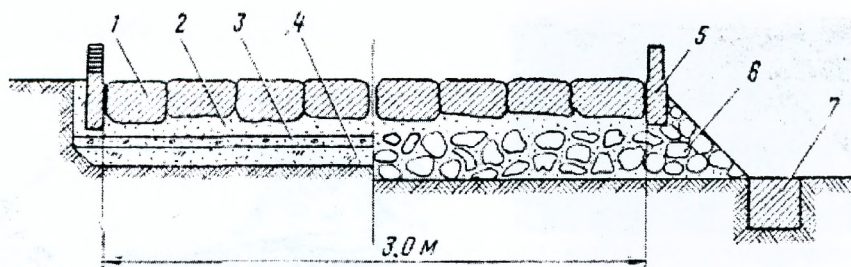


Рис. 1.4. Одежды на участке Фламиниевой дороги (220 г. до н.э.): 1 – базальтовые плиты размером 80x40x50 см; 2 – слой гравия 10-15 см; 3 – щебень 15 см; 4 – цементированный гравий 25 см; 5 – бордюрные камни высотой 45 см; 6 – булыжник; 7 – канава

Римские дороги прокладывали, как правило, по кратчайшему направлению, мало считаясь с естественными препятствиями, допуская на них крутые подъемы, поскольку грузы в основном перемещались вьюками. Из-за несовершенства римских повозок и упряжи (отсутствия поворачивающейся передней оси и хомута) римские дороги строили длинными и прямыми, в 2 раза увеличивая их ширину на крутых поворотах. Ради сохранения прямолинейности дороги иногда прокладывали в глубоких выемках, а вблизи от Неаполя был пробит туннель длиной около 1300 м. На магистральных римских дорогах была развернута служба перевозки государственных служащих, гонцов и важнейших грузов. Для этого через 10-15 км были построены станции, на которых имелись сменные лошади. Меняя лошадей, гонцы проезжали до 150 км в день.

Эксплуатация рабовладельческими государствами завоеванных провинций постепенно истощала их производительные силы. Римская империя, ослабленная восстаниями рабов, в конце V в. н.э. была покорена варварами, обитавшими у ее границ, германскими и славянскими племенами и на ее развалинах возникли десятки мелких государств, в пределах которых хозяйство имело натуральный характер. Магистральные пути сообщения Европы, пересекавшие теперь несколько государств, потеряли свое значение и, оставшись без ухода, разрушались. Аналогичное положение возникло позднее и в древней Руси после распада Киевского государства.

Натуральное хозяйство эпохи феодализма не нуждалось в дальних перевозках и не имело материальной базы для строительства дорог. Поэтому строительство дорог возобновилось только с развитием промышленности на последних этапах существования феодально-крепостнического общества, когда возникла потребность в расширении рынков сбыта и в путях для подвоза сырья.

Требования к транспорту существенно возросли в связи со значительными объемами перевозок угля и сырья, необходимых для развивающейся промышленности. В целях улучшения условий перевозок снова начали строить дороги с твердыми покрытиями. Поэтому конец XVIII и начало XIX вв. во всех странах характеризовались интенсивным дорожным строительством.

Почти тысячелетний период средневековья мало повлиял на совершенствование транспортных средств – лишь у всадников появились стремена, были изобретены хомуты и поворачивающиеся передки у повозок. В XVI–XVII вв. непревзойденными образцами техники дорожного строительства все еще считались римские дороги, участки которых, занесенные грунтом, часто обнаруживали при сельскохозяйственных и строительных работах. Однако методы строительства и конструкции дорог рабовладельческого общества оказались для этого периода непригодными. Стало уже невозможным затрачивать большое количество труда и материалов на строительство дороги. Возникла настоятельная потребность в уменьшении объемов работ и снижении стоимости строительства, в наиболее рациональном использовании каменных материалов для устройства дорожной одежды.

Важным этапом в развитии дорожного строительства явилась разработка конструкций дорожных одежд, названных по именам изобретателей.

Развитие транспорта во всех странах мира пошло по пути интенсивного строительства железных дорог, надолго оттеснивших дороги для конного транспорта на второстепенную роль подъездных путей к железнодорожным станциям и водным пристаням.

Темпы строительства дорог с твердыми одеждami, которые в то время называли «обыкновенными дорогами» или «шоссейными дорогами», были значительно ниже темпов

железнодорожного строительства. В 1861–1900 гг. в России ежегодный прирост протяжения шоссейных дорог составлял от 50 до 300 км при ежегодной сдаче в эксплуатацию от 700 до 3000 км железных дорог.

Однако даже при малом объеме дорожного строительства его техника в XIX столетии непрерывно совершенствовалась. Было введено уплотнение рассыпанного по дороге щебня паровыми катками. Была изобретена камнедробилка. От первых щебеночных одежд Мак-Адама, строившихся из щебня одинаковой крупности, постепенно перешли к современным щобночным покрытиям, последовательно расклиниваемым более мелким щебнем (клинец и высевки), рассыпаемым на поверхность при укатке. Выработанный к середине прошлого столетия тип щебеночных дорожных одежд вполне удовлетворял требованиям конного движения.

Трудоемкость дробления щебня, недостаточное количество катков и необходимость в тщательном уходе за щебеночными покрытиями в процессе эксплуатации способствовали широкому распространению мостовых из крупного камня и щебеночных покрытий на основаниях из крупных камней, поставленных на песок большей стороной – *пакеляжа*.

Несмотря на низкие транспортные качества мостовых – малую ровность, из-за которой движение повозок с колесами, имевшими железные шины, сопровождалось ударами и тряской, они имели широкое распространение из-за неприхотливости и длительного срока службы при практическом отсутствии содержания.

Развитие железнодорожного строительства не смогло полностью разрешить транспортную проблему. Существовал разрыв между высокой стоимостью перевозки грузов к железнодорожным станциям и пристаням и сравнительно низкими грузовыми тарифами на железнодорожном транспорте. В учебнике «Дорожное дело» проф. Г. Д. Дубелира приводился характерный пример, что в начале прошлого столетия подвоз 1 пуда хлеба из села до железной дороги в Клинском уезде стоил столько же, сколько последующая доставка его из Риги в Англию или из Одессы в Америку.

Поворотным моментом в технике безрельсового транспорта явилось появление автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.

Рассматривавшиеся вначале как предмет роскоши и спорта автомобили вскоре стали средством массовых грузовых и пассажирских перевозок с высокими скоростями. Появление автомобилей вновь повысило значение шоссейных дорог как самостоятельного вида путей сообщения. Это стало особенно ясным в первую мировую войну, когда на западном фронте автомобильный транспорт неоднократно использовался для быстрых перевозок войск.

Автомобилизация предъявила свои требования к дорогам. В первую очередь появление автомобилей отразилось на работе дорожных покрытий. Касательные усилия на ведущих колесах автомобилей нарушали относительно слабую заклинку между щебенками и вызывали быстрый износ щебеночных покрытий. Разрушению способствовало также использование почти до конца 20-х годов на грузовых автомобилях наряду с пневматическими сплошными массивными резиновыми шинами.

Завихрения воздуха поднимали облака пыли за быстро едущими автомобилями, делая поездки неприятными. Попытки борьбы с пылью на курортных дорогах Средиземноморья и Южного побережья Крыма путем поливки водой были малоэффективны. В поисках более надежных способов обеспыливания начали прибегать к поливке вначале нефтью, а затем промежуточным продуктом ее перегонки – гудроном. Выяснилось, что наряду с обеспыливанием, впитывающиеся в дорогу материалы, обладающие вяжущими свойствами, придают дороге связность и устойчивость против разрушающих воздействий шин. Постепенно был разработан ряд типов дорожных одежд из щебня, связанного органическими вяжущими материалами нефтяного происхождения, называемых теперь усовершенствованными покрытиями.

Период после первой мировой войны характеризовался быстрым развитием автомобильного транспорта, возрастанием скоростей движения и грузоподъемности автомобилей.

Пока автомобильное движение было еще относительно невелико, дорогами одновременно пользовался и конный транспорт. Интересы автомобилей учитывались лишь некоторым приспособлением элементов плана и профиля дорог к требованиям движения автомобилей, в первую очередь устранением резких переломов в продольном профиле и увеличением радиусов кривых в плане. Дороги этого периода называли *автогужевыми*. Транспорт-

ные качества дорог не обеспечивали автомобилям возможности реализовать их динамические качества. Совершенствование конструкций автомобилей диктовало необходимость улучшения дорог, которое, в свою очередь, способствовало дальнейшему совершенствованию автомобилей. Характерным примером в этом отношении является отмеченное в одной из работ акад. Е. А. Чудакова ухудшение проходимости легковых автомобилей американских фирм по мере развития сети дорог с усовершенствованными покрытиями в США.

Рост численности парка автомобилей и помехи, создаваемые для их движения конным транспортом, привели к тому, что в середине 20-х годов, наряду с продолжением строительства дорог для смешанного движения – автогужевых дорог, было начато строительство специализированных дорог, предназначенных только для автомобильных перевозок. Впервые они были построены в 1925 г. в Италии для связи Милана с курортными районами на берегах озер Комо и Маджиоре. Итальянское слово «автострада», означающее в переводе просто «дорога для автомобилей», в советских газетах и журнальных статьях до сих пор неправильно широко используют при описании современных магистральных автомобильных дорог для дальних перевозок с высокими скоростями.

Дальнейшее увеличение автомобильного парка и рост интенсивности движения автомобилей по дорогам сделали необходимым учет в полной мере особенностей движения автомобилей по дорогам. Этому способствовало и формирование теории автомобиля как самостоятельной науки. Ее выводы легли в основу разработки во всех странах «Технических условий на проектирование автомобильных дорог». В СССР первые технические условия, ориентированные на обеспечение безопасного движения с присвоенной для каждой категории дорог расчетной скоростью, были разработаны в 1938 г. под руководством проф. Г. Д. Дубелира. В их основе лежали требования устойчивости автомобиля против заноса и опрокидывания при проезде по криволинейным участкам дороги и обеспечения на дороге видимости, необходимой для своевременной остановки автомобиля перед препятствием на дороге.

В начале 30-х годов в странах с наиболее высокими темпами автомобилизации движение по дорогам настолько возросло, что возникла потребность в строительстве дорог, в полной мере удовлетворявших потребностям дальних автомобильных перевозок с высокими скоростями. Появился новый тип дорог – автомобильные магистрали, на которые не допускаются медленно движущиеся транспортные средства – конные повозки и тракторы, а также пешеходы и велосипедисты. Встречные потоки автомобилей разделены, пересечения в одном уровне исключаются, а въезд автомобилей на дорогу и выезд с нее осуществляются с минимальными помехами для движения. Особенно большое внимание было уделено строительству автомобильных магистралей в США и в Германии. Последняя, готовясь ко второй мировой войне, создавала сеть дорог, которая могла бы обеспечить возможность быстрой переброски войск с одного фронта на другой.

В СССР к строительству первой автомобильной магистрали, связывающей Москву с Минском, приступили в 1936 г.

Великая Отечественная война поставила перед дорожным и автомобильным хозяйствами задачу обеспечения гигантских по своим масштабам боевых операций. По грунтовым дорогам благодаря усиленному эксплуатационному содержанию и укреплению отдельных участков различными местными материалами, строительству деревянных колеяных покрытий осуществлялись перевозки с интенсивностью, требовавшей по нормативам мирного времени усовершенствованных покрытий. После войны было продолжено начатое еще до завершения военных действий восстановление разрушенных и строительство новых дорог.

Следует отметить, что при разработке первых норм на проектирование автомобильных дорог еще не были в полной мере известны особенности режимов движения автомобилей в разных дорожных условиях. Чтобы автомобили могли развивать высокие скорости, устраивали длинные прямые участки, а кривые в плане на поворотах дороги делали малых радиусов, обосновывая их расчетом на высокие значения коэффициента сцепления шин с покрытиями. Более того, допускали крутые подъемы в расчете на учет фактического состояния дорожной сети автомобильной промышленностью при конструировании новых марок грузовых автомобилей, что в последствии не оправдалось.

Практика эксплуатации дорог, построенных по первым техническим условиям, показала, что предусматриваемый в них напряженный режим движения (минимальное время реак-

ции водителей, аварийное использование тормозного усилия и т. п.) требует повышенного внимания водителей при проезде сложных участков. Выяснилось, что большинство водителей заметно снижало на них скорость, а невнимательные или склонные к повышенному риску часто попадали в аварийные ситуации. При дальнейшем росте интенсивности движения неудачные участки превратились в места возникновения заторов и сосредоточения дорожно-транспортных происшествий.

Потребовалось уточнить расчетные схемы для обоснования параметров элементов дороги и учесть во входящих в них коэффициентах и параметрах особенности режимов, фактически устанавливающихся на дорогах, поскольку они соответствуют особенностям работы большинства водителей. Поэтому первое десятилетие после окончания второй мировой войны характеризовалось во всех странах массовым изучением режимов движения автомобилей в различных дорожных условиях. Были установлены оптимальные значения воспринимаемых водителями продольных и поперечных ускорений, выдерживаемых расстояний от края дороги и от встречных автомобилей, траекторий движения на кривых и другие показатели. Полученные данные позволили уточнить значения норм на элементы дорог.

Дальнейшее, более глубокое изучение работы водителей выявило влияние на режимы движения не только сил и ускорений, действующих на автомобили в каждый конкретный момент, но и особенностей психологического восприятия водителями всей обстановки на придорожной полосе и обеспечение видимости дороги на больших расстояниях, существенно превышающих расчетную видимость. Было установлено, что при каждом изменении дорожных условий у водителей возникает нервно-эмоциональное напряжение, которое может приводить к ошибочным действиям при управлении автомобилем. Возникла идея обоснования не только значений отдельных элементов дороги, но и их взаимных сочетаний с учетом сохранения у водителей в процессе движения по дороге постоянной оптимальной нервно-эмоциональной напряженности, делающей поездку в автомобиле и управление им приятными и неустрашающими.

В результате возник новый раздел теории проектирования дорог, решающий вопросы пространственной плавности и гармоничного сочетания автомобильных дорог с ландшафтом. К дорогам как к сооружениям массового пользования начали предъявлять архитектурные требования.

Рост автомобильных перевозок привел к повышению грузоподъемности автомобилей. Увеличились осевые нагрузки, возросла доля грузовых автомобилей в составе транспортного потока. Это неизбежный процесс, объясняемый неэффективностью перевозок больших объемов грузов на автомобилях малой грузоподъемности, которые требуют большого числа водителей. Однако увеличение давления на колесо требует соответственного увеличения прочности дорожных одежд как на вновь строящихся, так и на используемых дорогах.

Создание методов обоснования требований к элементам дорог нельзя считать завершенным. Теория автомобиля, являющаяся базой для проектирования дорог, все время развивается. Ее достижения неизбежно должны находить отражение в совершенствовании методов проектирования дорог. Однако одновременно должно быть усилено и внимание автомобильной промышленности к учету реальных дорожных условий эксплуатации автомобилей в их конструкции.

Автомобиль и дорога – равноправные составные части автомобильного транспорта и должны совершенствоваться в увязке друг с другом.

1.2. Роль автомобильных дорог в транспортной системе народного хозяйства и задачи дорожного строительства

Сеть путей сообщения Беларуси состоит из железных и автомобильных дорог, воздушных и речных линий, а также трубопроводов для доставки нефтепродуктов и газа. Все эти виды транспорта образуют единую транспортную систему. Основная задача улучшения координации перевозок – оптимизация их совместной работы и взаимодействия с другими отраслями народного хозяйства.

Основным видом транспорта в бывшем СССР являлся железнодорожный, выполнявший большую часть грузовых и пассажирских перевозок на дальние расстояния. Водные перевозки наиболее дешевы, однако скорость движения по воде небольшая, к тому же в условиях Беларуси навигационный период невелик из-за продолжительности ледяного покрова и

обмеления рек летом. Воздушный транспорт обладает наибольшей скоростью перевозок. Относительно малая грузоподъемность самолетов и необходимость затрат значительной мощности на их перемещение делают этот вид транспорта наиболее дорогостоящим.

Возможные направления железнодорожных, водных и воздушных перевозок определяются сетью железных дорог, наличием аэродромов, направлением рек и связывающих их каналов. Поэтому железнодорожный, водный и воздушный транспорт неизбежно должны работать в сочетании с автомобильным транспортом, обслуживающим подъездные пути к погрузочно-разгрузочным пунктам, железнодорожным станциям, портам и аэродромам. На начальном и конечном этапах перевозки подавляющее большинство грузов перевозится автомобильным транспортом, который принимает грузы непосредственно на месте их формирования и доставляет к месту назначения.

Для условий Беларуси в связи с относительно небольшими размерами республики все больше возрастает роль автомобильного транспорта, особенно в процессах транспортных связей внутри государства. Поэтому необходимо уделять большое внимание как проектированию новых, так и реконструкции и эксплуатации существующих автомобильных дорог.

Многие автомобильные дороги были построены во время существования СССР. Отдельные их участки уже не удовлетворяют требованиям современного интенсивного движения скоростных легковых и тяжелых грузовых (автопоездов) автомобилей. Необходима постепенная реконструкция этих дорог с максимальным использованием существующих земляного полотна и дорожных одежд, на строительство которых в свое время было затрачено много труда и средств.

Дорожные работы принадлежат к числу трудоемких процессов, связанных с выполнением значительных транспортных работ и с затратами большого количества строительных материалов. Так, для строительства 1 км автомобильной дороги с асфальтобетонным покрытием на щебеночном основании в равнинной местности требуется доставить до 4,5-5 тыс. м³ щебня, 2,5 тыс. м³ песка и разработать до 20-30 тыс. м³ грунта. Каменные материалы, необходимые для устройства дорожных одежд, часто приходится перевозить на большие расстояния. Выполнение дорожно-строительных работ осложняется растянутостью фронта строительства на десятки километров, что требует применения специфических форм и методов организации работ.

Развитие темпов дорожного строительства должно базироваться на его дальнейшей индустриализации, автоматизации и комплексной механизации всего строительного процесса, сокращении сферы использования неквалифицированного труда. Создание и освоение выпуска систем машин для комплексной механизации работ в дорожном строительстве, в частности производство новейшего оборудования и машин для скоростного строительства магистральных автомобильных дорог, позволят резко поднять темпы дорожного строительства.

Выполнение планов дорожного строительства неразрывно связано с повышением качества строительства и снижением его стоимости. Всемерное улучшение качества строящихся дорог не может решаться без повышения уровня проектных решений, которые должны сочетать полнейшее удовлетворение требований экономичности, безопасности и комфортабельности автомобильных перевозок со снижением стоимости строительства и рациональной его организацией.

В связи с повышением требований к капитальности дорог стоимость дорожного строительства сильно возросла. Это требует поисков технически рациональных и экономически эффективных проектных решений, основанных на детальном учете особенностей перевозок и местных природных условий, оправданных опытом строительства и эксплуатации дорог. Большое значение приобретает учет опыта службы построенных дорог и широкое использование в строительстве дорог и мостов типовых проектов, основанных на последних достижениях отечественной и зарубежной науки и техники.

При проектировании дорог необходимо устранять избыточные запасы прочности, рационально расходовать фондируемые и привозные материалы. Следует широко использовать местные строительные материалы, в том числе грунты, а также отходы и побочные продукты промышленности, располагая их в сооружениях в соответствии с действующими напряжениями от транспортных нагрузок и интенсивностью воздействия природных факторов, прибегая в случаях необходимости к укреплению этих материалов.

В природных условиях Беларуси при различии климатических, почвенно-грунтовых и гидрологических особенностей районов от проектировщиков требуется творческий подход к поставленным задачам и умение находить в каждом конкретном случае технически правильные и экономически целесообразные инженерные решения, способность учитывать влияние на построенную дорогу природных факторов и особенностей будущего движения потока автомобилей.

Теория проектирования и строительства дорог находится в процессе непрерывного совершенствования. Являясь прикладной технической дисциплиной, она в своем развитии опирается на достижения технических и естественно-исторических наук – инженерной геологии, климатологии, грунтоведения и механики грунтов, гидравлики, гидрологии, химии и др., а также опыта практики. Более широкое использование этих достижений и особенно быстро развивающейся химической промышленности раскрывает перед дорожниками широкие перспективы расширения круга решаемых задач, применения различных материалов, в том числе местных грунтов и побочных продуктов промышленности, создания новых материалов с заданными свойствами.

Обширные задачи дорожного строительства не могут мириться с его сезонностью. До недавнего времени в зимние месяцы выполнялся ограниченный объем работ по заготовке каменных материалов, строительству зданий и частично мостов и труб. Работы по возведению земляного полотна и устройству дорожных одежд, стоимость которых достигает 70 % общей стоимости дороги, в основном выполняются только в теплые месяцы года. Поэтому сокращение сезонности и планомерное использование средств механизации и трудовых ресурсов в течение всего года являются большой проблемой, стоящей перед дорожниками.

Дорожники должны быть готовы к возможному в ближайшем будущем качественному изменению транспортных средств на автомобильных дорогах. Использование достижений электроники даст возможность автоматизировать управление движением транспортных средств, а, следовательно, выдвинет новые требования к автомобильным дорогам.

1.3. Состояние автомобильных дорог Беларуси

С целью совершенствования и развития автомобильных дорог Беларуси была разработана по поручению Совета Министров Республики Беларусь от 27.03.97 г. №04/106 Государственная программа «Дороги Беларуси» на период 1997-2005 годы. Основные ее концепции базируются на программных документах Правительства Республики Беларусь и действующем законодательстве, детализируя и развивая положения этих документов применительно к дорожному хозяйству с учетом его специфики.

Главными целями Государственной программы «Дороги Беларуси» являются создание условий для стабилизации социально-экономической ситуации, интенсивного развития экономики и более полного использования национальных производственных ресурсов в стране, повышения уровня жизни населения и активизации его трудовой деятельности благодаря удовлетворению спроса на поездки и автомобильные перевозки. Всему этому будет способствовать привлечение различных секторов экономики, отраслей производства и частных предпринимателей к реализации настоящей программы.

В Республике Беларусь по состоянию на начало 2000 года протяженность сети автомобильных дорог общего пользования составляла около 64 тыс.км. Из них около 23 тыс.км относится к дорогам республиканского и 41 тыс.км к дорогам местного значения. Из общей протяженности твердое покрытие имеют 57 тыс. км дорог, в том числе асфальтобетонное и цементобетонное покрытие – 37 тыс. км.

Автомобильными дорогами с твердым покрытием связаны все города и городские поселки, включая райцентры, центральные усадьбы колхозов и совхозов и часть других сельских населенных пунктов.

Вместе с тем протяженность дорог общего пользования с твердым покрытием и их транспортно-эксплуатационное состояние *не удовлетворяют в достаточной степени потребности народного хозяйства в автомобильных перевозках:*

- 1) общая протяженность дорог общего пользования с твердым покрытием на 1000 км² территории составляет 250 км, что в 3-5 раз ниже, чем в развитых европейских странах (например, в Германии – 1000 км);

- 2) протяженность внутрихозяйственных дорог колхозов и совхозов к сельским населенным пунктам составляет 34 тыс. км, в том числе не имеющих твердого покрытия – 25 тыс. км.
- 3) за последние 5 лет инвестиции в дорожную отрасль уменьшились в 2-3 раза, что привело к снижению транспортно-эксплуатационного состояния дорог.

По результатам диагностики дорог республиканского значения выявлено:

- 1) из их общей протяженности 13% – участки с неудовлетворительной ровностью покрытия;
- 2) с неудовлетворительными сцепными свойствами покрытия – 8 %;
- 3) с неудовлетворительной его прочностью – 16 %;
- 4) участки, на которых требуется устройство нового покрытия из-за износа, дефектов или недостаточной ширины – 36 %.

Таким образом, около 72 % дорог республиканского значения не соответствуют нормативным требованиям. Обеспеченность их удерживающим барьерным ограждением безопасности движения составляет 70%, пешеходными дорожками – 55%, разметкой – 36%.

На дорогах местного значения 64% участков от общей протяженности не соответствуют нормативным требованиям.

В такой ситуации важнейшим условием, помогающим продлить возможность нормальной эксплуатации дорог, является *своевременное выполнение ремонтов*, которые при наличии асфальтобетонного покрытия должны осуществляться через 10-15 лет, гравийного покрытия – через 6-9 лет. *Однако это условие хронически не выполняется.* В настоящее время эксплуатируется свыше 24 тыс. км дорог (почти каждый второй километр), на которых превышены сроки между капитальными ремонтами, и более 9 тыс. км с превышением сроков между средними ремонтами.

Таким образом, транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог общего пользования дает основание сделать вывод, что сеть дорог работает на *исчерпание несущей способности.*

По обобщающему показателю ровности состояние дорог с асфальтобетонным и цементобетонным покрытиями в 2000 году выглядит следующим образом:

- отличное – 14,9%;
- хорошее – 49,4%;
- удовлетворительное – 24,1%;
- плохое – 6,5%;
- на стадии разрушения – 5,1%.

На дорогах республики из-за низкого их технического состояния средняя скорость движения составляет **около 33 км/ч**, что приводит к увеличению стоимости перевозок на 25-30%, снижению производительности грузового автомобиля на 25-30%, пассажирского – 35-40%. Недостаточная ровность покрытия, которая на большей части дорог оценивается как удовлетворительная, удорожает перевозки на 30-50%.

Создавшаяся ситуация усугубляется постоянным ростом нагрузок на дорожные покрытия, что обусловлено *быстрым ростом в стране числа транспортных средств.* Практически каждые пять лет количество грузовых автомобилей возрастает в 1,5 раза, а легковых – в 1,8 раза. Так, если в 1991 г. общее количество автомобилей на 1 км дорог общего пользования составляло 12,6 единицы, в 1996 г. – 20 единиц, то в 2000 г. оно превысило 30 единиц. Увеличилась и доля тяжелых транспортных средств с нагрузкой на ось более 10 т.

Причиной всех этих негативных явлений является недостаток финансовых средств, которых на 1 км автодорог в Республике Беларусь направляется в 2-9 раз меньше, чем в зарубежных странах (рис 1.5).

Основой дорожной политики Республики Беларусь является обеспечение народного хозяйства и населения надежными транспортными связями, а также интеграция магистральных дорог в транспортную систему Европейских международных дорог и в единую автодорожную сеть международных автомагистралей в рамках СНГ.

Исходя из поставленных задач, *основными направлениями государственной дорожной политики* на рассматриваемый период будут:

- обеспечение государственных гарантий обслуживания пользователей автомобильных дорог;

- совершенствование системы государственного управления дорожным хозяйством;
- создание условий для эффективных форм деятельности дорожно-строительного комплекса;
- формирование рынка дорожных работ;
- развитие конкуренции за счет внедрения конкурсной системы предоставления подряда (тендеров);
- переход на современные методы планирования на основе анализа транспортно-эксплуатационного состояния дорожной сети;
- приоритетное финансирование работ по содержанию и ремонту дорог и мостов;
- развитие магистральных дорог, обеспечивающих международные транспортные перевозки;
- развитие сети автодорог в сельской местности за счет поэтапного строительства внутрихозяйственных дорог, обеспечивающих связи населенных пунктов, и приема их в сеть дорог общего пользования;
- обеспечение стабильного финансирования дорожного хозяйства.

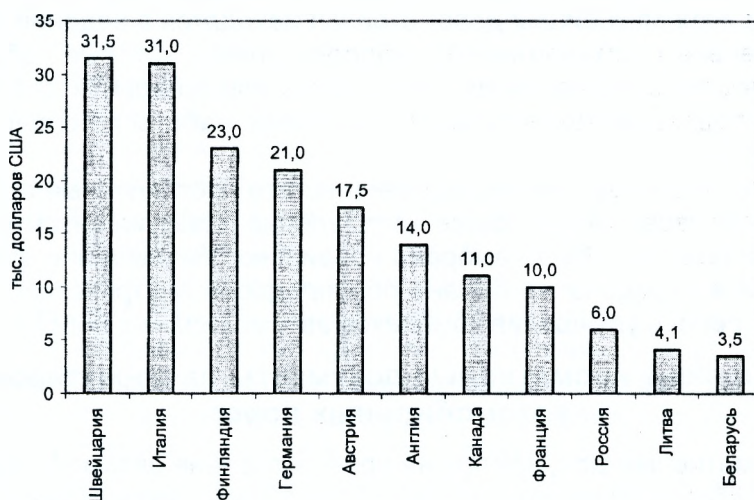


Рис. 1.5. Средняя сумма финансирования 1 км дороги (на 2000 год)

Через республику проходит **два международных транспортных коридора** (по Критскому соглашению Общевропейской конференции по вопросам транспорта), общая протяженность которых составляет 1530 км:

- 1) № 2 ВОСТОК – ЗАПАД – международная автомагистраль М-1/Е30 Брест – Минск – граница РФ;
- 2) № 9 СЕВЕР – ЮГ с ответвлением 9Б – автомобильная дорога М-8/Е95 граница РФ (от Санкт-Петербурга) – Витебск – Гомель – граница Украины (коридор № 9) и дороги в направлении Вильнюс – Минск – Гомель (ответвление 9Б).

Решением Межгосударственного совета дорожников (1996г.) подготовлен проект Соглашения о международных автомобильных дорогах СНГ. В перечень международных автомобильных дорог СНГ включены дороги, проходящие по территории республики, по направлениям: Брест - Минск - граница Российской Федерации (РФ); граница РФ - Витебск - Гомель - граница Украины; Кобрин - Гомель - граница РФ; Брест - Мокраны - граница Украины; Граница Литвы - Минск - Гомель; Минск - Гродно - граница Польши; Граница Латвии - Полоцк - Витебск - Смоленск; Бобруйск - Мозырь - Житомир; граница Литвы - Лида - Ивацевичи; Минск - Полоцк - Опочка.

Общая протяженность этих дорог составляет более 3200 км (20,7 % от протяженности дорог республиканского значения). Реконструкция, ремонт и содержание их осуществляется в соответствии с «Общими требованиями, которым должны отвечать международные автомобильные дороги СНГ», разработанными Международным советом дорожников.

Проведение государственной дорожной политики осуществляется Комитетом по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций и областными исполнительными комитетами, что обеспечивает формирование сети дорог общего пользования и способствует сбалансированному учету интересов общества и экономики. Общий объем ин-

вестиций в дорожную отрасль на 1997-2005 годы в ценах 1997 года определен в размере 102 млн. долларов США.

Объемы работ и финансовые ресурсы на содержание и ремонт дорог республиканского значения определены с учетом перевода участков с гравийным покрытием (623 км) в асфальтобетонное покрытие. По дорогам местного значения на участках с гравийным покрытием (14364 км) предусматривается проведение плановых ремонтов.

Внутрихозяйственные дороги, связывающие сельские населенные пункты, по мере их строительства включаются в сеть дорог общего пользования, в 1998 году – 8239 км, а остальные 24825 км – в течение всего периода до 2005 года. Строительство внутрихозяйственных дорог осуществляется по нормативам низких категорий с гравийным покрытием.

Одной из основных задач является создание органов государственного управления дорожным хозяйством, способных осуществлять управление автомобильными дорогами и их развитием в интересах пользователей и государства.

В 1997 году только 6,7 тыс. км дорог республиканского значения обслуживались организациями, подчиненными Комитету по автомобильным дорогам, а 8,8 тыс. км таких дорог (57% протяженности всех важнейших дорог страны) находятся в ведении областных проектно-ремонтно-строительных объединений (облдорстроев), которые обслуживают также 36,7 тыс. км дорог местного значения, относящихся к коммунальной собственности. Они и выполняют, силами подведомственных им предприятий, работы по содержанию, ремонту и реконструкции дорог.

Нужно отметить, что к настоящему времени не все поставленные программой «Дороги Беларуси» задачи реализованы. Но общее направление развития автомобильных дорог Беларуси, как показала практика, было выбрано правильно. Уменьшение финансирования дорожных организаций и передача на баланс облупродоров внутрихозяйственных дорог несколько замедлили процесс улучшения комплекса автомобильных дорог страны.

1.4. Основные нормативные документы на проектирование автомобильных дорог

Основным нормативным документом на проектирование автомобильных дорог является **СНиП 2.05.02-85** «Автомобильные дороги». Этот СНиП распространяется на проектирование новых и реконструкцию автомобильных дорог общего пользования и подъездных дорог промышленных предприятий и *не распространяется* на проектирование временных автомобильных дорог (сооружаемых на срок службы менее 5 лет), дорог лесозаготовительных предприятий, внутренних дорог промышленных предприятий (испытательных, внутриплощадочных, карьерных и т.д.), внутрихозяйственных дорог в колхозах и совхозах.

Требования **СНиП 2.05.11-83** «Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях» распространяются на проектирование новых и реконструкцию существующих внутрихозяйственных дорог в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях независимо от их ведомственной принадлежности.

Городские улицы и дороги проектируют с учетом требований **СНБ 3.03.02-97** «Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов».

Расчет дорожных одежд нежесткого типа производится согласно Пособию **3.03.01-96** «Проектирование дорожных одежд нежесткого типа» к СНиП 2.05.02-85, а проектирование земляного полотна автомобильных дорог согласно Пособию **П2-01** к СНиП 2.05.02-85.

Основные искусственные сооружения на автомобильных дорогах, городских улицах и дорогах проектируют согласно **СНиП 2.05.03-85** «Мосты и трубы».

Дорожные знаки должны устанавливаться в соответствии с **СТБ 1300-2002** «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения» и соответствовать **СТБ 1140-99** «Знаки дорожные. Общие технические условия».

Кроме того, необходимо при проектировании руководствоваться и системой ВСН (ведомственные строительные нормы), если их требования не противоречат вышеуказанным СНиП.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

2.1. Элементы автомобильной дороги

Автомобильная дорога – комплекс инженерных сооружений, предназначенный для обеспечения безопасного и удобного движения транспортных средств с установленными скоростями, нормативными нагрузками и габаритами, которые определяются правилами дорожного движения, ГОСТ, СНиП и другими нормативными актами.

Современная автомобильная дорога рассчитана на преимущественный пропуск основного вида транспортных средств – автомобилей. Гусеничные машины, разрушающие дорожную одежду, и конные повозки, процент которых в современном составе движения в большинстве стран ничтожен, должны следовать по параллельным грунтовым дорогам или по специально устраиваемым тракторным путям. Поэтому основными видами подвижного состава автомобильных дорог являются различные типы автомобилей – автобусы, легковые и грузовые автомобили, автопоезда. В сельскохозяйственных районах на дорогах возможно движение тракторных поездов с несколькими прицепами. Допускается проезд мотоциклов и сельскохозяйственных машин на резиновых шинах.

Как и любое инженерное сооружение, дорога может обеспечивать пропуск только тех нагрузок и в том количестве, на которые она рассчитана при проектировании. Между тем прогресс в автомобилестроении приводит к непрерывному совершенствованию и изменению типов автомобилей, модели которых меняются на каждом заводе через несколько лет. Существует устойчивая тенденция к увеличению грузоподъемности автомобилей и к более широкому использованию автопоездов.

Каждая дорога служит десятки лет и поэтому невозможно заранее точно предугадать параметры автомобилей, которые будут по ней ездить в будущем. Экономически нецелесообразно в то же время строить дороги с избыточным запасом прочности, рассчитанным на многие годы вперед. Поэтому разрабатывают стандарты на габариты автомобилей и нагрузки от них, которые обязана соблюдать автомобильная промышленность и к которым приспособливают нормы на элементы автомобильных дорог.

С учетом вышесказанного можно сформулировать основные **требования к современным автомобильным дорогам**:

- 1) должны обеспечивать возможность движения потоков автомобилей с высокими скоростями;
- 2) должны обеспечивать условия, при которых автомобили могут реализовать свои динамические качества при нормальном режиме работы двигателя;
- 3) в течение всего года дорожная одежда должна быть прочной, противостоять динамическим нагрузкам, передающимся на нее при движении автомобилей, быть ровной и нескользкой;
- 4) должны быть устойчивыми к активному воздействию многочисленных природных факторов (нагревание солнечными лучами, промерзание и оттаивание, увлажнение выпадающими осадками, грунтовыми водами и водой, притекающей с придорожной полосы, и т. п.);
- 5) должны обеспечивать безопасность автомобильного движения;
- 6) должны быть проложены с учетом психофизиологических особенностей восприятия водителями дорожных условий, т.е. предоставлять водителям всю необходимую информацию, как бы подсказывая им правильные режимы движения;
- 7) должны обеспечивать высокую пропускную способность и исключать возможность серьезных дорожно-транспортных происшествий (ДТП);
- 8) должны обеспечивать высокие архитектурно-эстетические требования;
- 9) строительство дорог должно сопровождаться созданием широкой сети предприятий, предназначенных для обслуживания как водителей и пассажиров, так и автомобилей (придорожных столовых, гостиниц, а также станций технического обслуживания, автозаправочных станций, моечных пунктов и других объектов). Все эти комплексы сооружений должны вводиться в действие одновременно со сдачей дороги в эксплуатацию;
- 10) проект дороги должен также предусматривать организацию строительства с максимальным применением современных средств механизации;

11) при проектировании необходимо использовать комплексную систему автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД).

Все это показывает, насколько широк круг вопросов, которые должны решать инженеры, проектирующие современные автомобильные дороги, и насколько высокие и разносторонние требования предъявляются к этим специалистам в настоящее время.

Инженеры-проектировщики должны:

- 1) в совершенстве владеть приемами выбора трассы дороги на местности и сбора полевых данных, необходимых для обоснования проектных решений;
- 2) уметь назначать конструктивные элементы дорог, обеспечивающие удобство, безопасность и экономичность грузовых и пассажирских перевозок;
- 3) предусматривать широкое использование местных строительных материалов и побочных продуктов промышленности;
- 4) обладать знаниями методов технико-экономической оценки и сравнения вариантов, позволяющих выбирать наиболее оптимальные решения для заданных конкретных условий, в максимальной степени учитывающие местные геофизические условия, влияющие на строительство и последующее содержание дорог.

Ошибки при строительстве земляного полотна или дорожных одежд могут быть исправлены при капитальном ремонте. Ошибки при проектировании, особенно при выборе трассы, остаются на десятилетия, вызывая неустранимые потери народного хозяйства.

Основными элементами автомобильной дороги являются:

1. *Земляное полотно* – грунтовое дорожное сооружение, служащее основанием для размещения конструктивных слоев дорожной одежды и возводимое из местных или привезенных грунтов с обеспечением устойчивости самого земляного полотна.
2. *Дорожная одежда* – многослойная конструкция, непосредственно воспринимающая нагрузку от транспортных средств и передающая ее на грунтовое основание.
3. *Искусственные сооружения* (мосты, путепроводы, виадуки, тоннели, эстакады и трубы) устанавливаются при пересечении дорогами различных искусственных и естественных препятствий.
4. *Система водоотвода* – комплекс сооружений, отводящий поверхностные и подземные воды от земляного полотна и дорожной одежды.
5. *Обустройство дороги* – автобусные остановки, площадки отдыха, пешеходные и велосипедные дорожки, связь и освещение.
6. *Дорожная обстановка* – дорожные знаки, разметка, ограждение, светофоры.
7. *Здания и сооружения дорожной и автотранспортной службы* – автопавильоны, автомоечные и автозаправочные станции, станции тех. обслуживания и т.п.

2.2. Техническая классификация автомобильных дорог

Согласно постановлению Совета министров Республики Беларусь №69 от 11.02.1993 года о классификации автомобильных дорог они подразделяются на дороги **общего пользования и ведомственные**.

Дороги общего пользования делятся на дороги **республиканского и местного значения**.

Ведомственные дороги делятся на: 1) подъездные; 2) технологические; 3) внутрихозяйственные; 4) служебные; 5) патрульные.

По техническим показателям различают **5 категорий дорог общего пользования и 3 категории внутрихозяйственных**.

Дороги *республиканского значения* связывают столицу с административными центрами областей, городами и районными центрами с населением более 100 тыс. чел. К ним относятся также дороги, соединяющие областные центры с административными с населением более 50 тыс. человек.

Дороги *местного значения* связывают между собой районные центры, населенные пункты с численностью более 10 тыс.чел. и центральные усадьбы колхозов и совхозов.

Внутрихозяйственные дороги колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий соединяют центральные усадьбы с их отделениями и бригадами, фермами, полевыми станами и другими сельскохозяйственными объектами, а также эти объекты с дорогами общей сети.

Ведомственные дороги – дороги на балансе предприятий, предназначенные для обслуживания их производственных и технологических перевозок, подъездов к производственным объектам и дорогам общей сети.

В зависимости от народнохозяйственного значения дороги и *интенсивности движения*, автомобильные дороги общего пользования Беларуси согласно СНиП 2.05.02-85 делят на пять категорий (табл. 2.1).

Таблица 2.1 Классификация автомобильных дорог

Категория дороги	Расчетная интенсивность движения		
	приведенная к легковому автомобилю, авт/сут	в транспортных единицах, авт/сут	часовая, авт/ч
I-а	> 14000	> 7000	> 2400
I-б	> 14000	> 7000	> 2400
II	> 6000	> 3000	1600-2400
III	> 2000	> 1000	800-1600
IV	> 200	> 100	–
V	< 200	< 100	–

Примечания: 1. Расчетная интенсивность в транспортных единицах принимается в случаях, когда легковые автомобили будут составлять менее 30 % общего транспортного потока. 2. Категория подъездных дорог к промышленным предприятиям назначается в соответствии с расчетной интенсивностью движения для дорог I-б – V категории.

К I и II категориям отнесены автомобильные дороги республиканского и межгосударственного значения. При этом различают два вида дорог I категории: I-а – магистральные дороги общегосударственного значения, включая международные и I-б – прочие дороги с высокой интенсивностью движения. Дороги III категории – это дороги того же значения, что и предыдущие, но не отнесенные к этим категориям (с меньшей интенсивностью движения), и важнейшие местные дороги, IV категории – областные и местные дороги, V категории – дороги сугубо местного значения.

Чем выше интенсивность движения, тем более совершенными проектируют дороги. Это связано с тем, что если для пропуска движения большой интенсивности построить дорогу с относительно крутыми уклонами и малой шириной проезжей части, то, хотя она и будет стоить дешевле, автомобили на ней не смогут двигаться с высокими скоростями. На такой дороге в течение всего периода эксплуатации автомобильный транспорт будет нести очень большие расходы.

Конечно, подход к назначению категории дорог не исчерпывается вопросами стоимости строительства и эксплуатации. Учитывают и ряд других соображений, например, значение дороги для народного хозяйства и ее роль в транспортной сети. Ряд дорог строят с соблюдением относительно высоких технических требований, несмотря на интенсивность движения, соответствующую более низкой категории, например, подъезды к аэропортам, когда стремятся обеспечить наибольшее удобство и скорость сообщений.

Нецелесообразно исходить только из ожидаемой интенсивности движения также при проектировании дорог, строящихся во вновь осваиваемых районах. Такая дорога, несмотря на малую интенсивность движения в течение первых лет после строительства, в дальнейшем становится магистралью, вокруг которой происходит заселение района. Поэтому трассу дорог целесообразно назначать с учетом относительно далеких перспектив развития района, по техническим нормативам плана и продольного профиля, соответствующим большей интенсивности движения, чем перспективная на ближайший период.

Перспективный период при назначении категорий дорог, проектировании элементов плана, продольного и поперечного профиля принимается равным 20 годам. Подъездные автомобильные дороги к промышленным предприятиям следует проектировать на расчетный срок, соответствующий году достижения предприятием или его очередью полной проектной мощности, с учетом объема перевозок в период строительства предприятия.

Внутрихозяйственные дороги совхозов, колхозов и других сельскохозяйственных предприятий и организаций, согласно СНиП 2.05.11-83 делят на категории I-с, II-с и III-с в зависимости от объема выполняемых по ним грузовых перевозок. К категории I-с относят дороги, расчетный объем грузовых перевозок по которым в месяц «пик» составляет более 10 тыс. т нетто; к категории II-с – менее 10 тыс. т нетто и которые соединяют центральные

усадыбы колхозов, совхозов с их бригадами и отделениями. К категории III-с относят полевые дороги, предназначенные для транспортного обслуживания отдельных сельскохозяйственных угодий. На гидромелиоративных системах (ГМС) дороги классифицируются согласно табл. 2.2.

Таблица 2.2. Классификация дорог на ГМС

Дороги	Интенсивность движения, ед/сут	Тип покрытия	Материал дорог
1. Магистральные	>3000 2000-3000 1500-2000	капитальный капитальный облегченный	цементобетон; асфальтобетон; щебеночно-гравийная смесь, обработанная битумным вяжущим
2. Межхозяйственные	1500-2000 1000-1500	облегченный облегченный	а/б из смесей, укладываемых в теплом состоянии; щебеночно-гравийные, обработанные битумными материалами по способу пропитки
3. Внутрихозяйственные инспекторские вдоль магистральных каналов	до 500	переходной	щебеночные, гравийные, шлаковые, не обработанные вяжущими
4. Внутрихозяйственные инспекторские вдоль прочих каналов	до 300	переходной	грунтовые, укрепленные органическими вяжущими
5. Полевые магистральные	до 200	низший	грунтовые
6. Полевые дороги тип а	до 50	низший	грунтовые
тип б	до 10	низший	

По внутрихозяйственным дорогам перемещаются также сельскохозяйственные машины (как самоходные, так и прицепные), в том числе широкогабаритные.

Значительная проблема, которую необходимо учитывать при сооружении сети внутрихозяйственных дорог – перемещение по ним гусеничных тракторов, сильно разрушающих покрытие. В период строительства в колхозах и совхозах производственных сооружений на дорогах неизбежно наличие тяжелых автомобилей и тягачей с прицепами; в это время осевая нагрузка на дорогу может превышать эксплуатационную и должна учитываться при планировании строительства. В эксплуатационный период на внутрихозяйственных дорогах в последние годы все чаще встречаются грузовые автомобили КамАЗ, тяжелые колесные тракторы К-700 и К-701 с грузовыми прицепами полной массой 15-20 т, поэтому *нагрузка на дорожные одежды постоянно возрастает*.

Отсюда не менее существенны и значимы такие транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги, как расчетная скорость и нагрузка.

Расчетной скоростью считается наибольшая возможная (по условиям устойчивости и безопасности) скорость движения одиночных автомобилей при нормальных условиях погоды и сцепления шин автомобилей с поверхностью проезжей части, которой на наиболее неблагоприятных участках трассы соответствуют предельно допустимые значения элементов дороги.

Все элементы дороги каждой категории рассчитывают на обеспечение безопасного движения одиночных легковых автомобилей с расчетной скоростью, соответствующей данной категории дороги, при хорошей видимости в сухую погоду или при увлажненной чистой поверхности покрытия.

Расчетные скорости движения для проектирования элементов плана, продольного и поперечного профилей, а также других элементов, зависящих от скорости движения, следует принимать по табл. 2.3.

Расчетные скорости на смежных участках автомобильных дорог не должны отличаться более чем на 20%.

Основная расчетная скорость движения для дорог I категории соответствует средним скоростям, которые могут развивать современные легковые автомобили, а расчетная скорость для дорог IV категории близка к максимальным скоростям грузовых автомобилей производства СНГ.

Таблица 2.3. Расчетные скорости движения

Категория дороги	Расчетные скорости, км/ч		
	основные	допускаемые на трудных участках местности	
		пересеченной	горной
I-а	150	120	80
I-б	120	100	60
II	120	100	60
III	100	80	50
IV	80	60	40
V	60	40	30

Примечания: 1. К трудным участкам пересеченной местности относится рельеф, прорезанный часто чередующимися глубокими долинами, с разницей отметок долин и водоразделов более 50 м на расстоянии не свыше 0,5 км, с глубокими боковыми балками и оврагами, с неустойчивыми склонами. 2. При наличии вдоль трассы автомобильных дорог, проектируемых на подходах к городам, капитальных дорогостоящих сооружений и лесных массивов, а также в случаях пересечения дорогами земель, занятых особо ценными сельскохозяйственными культурами и садами, при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается принимать расчетные скорости, установленные в табл. 2.3 для трудных участков пересеченной местности.

При движении по дороге потока транспортных средств из-за взаимных помех скорости движения снижаются по сравнению с расчетными. Однако расчет элементов на высокие скорости обеспечивает удобство и безопасность движения в часы меньшей загрузки дороги.

По дорогам низших категорий происходит движение тех же автомобилей, что и по дорогам высших категорий. Однако дороги III-V категорий ограничивают возможности автомобилей в полной мере использовать свои динамические качества. Поэтому в нормах проектирования автомобильных дорог специально оговорено, что всегда, когда позволяют условия местности и это не связано с существенным увеличением объемов и стоимости работ, следует предусматривать значения элементов плана и продольного профиля дорог, обеспечивающие высокие скорости движения, если возможно даже превышающие расчетные для дорог I категории. Расчетные скорости движения автомобилей, принятые в Беларуси, примерно соответствуют расчетным скоростям в других странах.

Нагрузку на одиночную наиболее нагруженную ось двухосного автомобиля для расчета прочности дорожных одежд, а также проверки устойчивости земляного полотна принимается в зависимости от категории дороги: I-IV категорий – 100 кН (10 тс); V категории – 60 кН (6 тс).

3. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ДОРОГАМ

3.1. Характеристика движения по автомобильной дороге

Основными видами *подвижного состава* автомобильных дорог являются различные типы автомобилей: легковые, автобусы, грузовые, автопоезда, мотоциклы, тракторы и тракторные поезда, сельскохозяйственная техника, гужевые повозки. Для гусеничных машин и гужевых повозок используются специальные дороги, прокладываемые параллельно основным и специально устраиваемые *тракторные пути*.

Расчет обеспечиваемых дорогой скоростей движения выполняют на наиболее совершенные и распространенные автомобили массового производства (в СССР это были «ВАЗ», «Волга» и «ЗИЛ»). Многие современные дороги запроектированы на эти типы автомобилей.

Требования к габаритным размерам автомобилей ограничивают их высоту 4 м (3,8 м – для дорог V категории), ширину 2,5 м, длину 12 м для одиночного грузового автомобиля или с одним прицепом, 20 м для трехосного тягача с одним прицепом и 24 м для трехосного тягача с двумя двухосными прицепами (рис. 3.1).

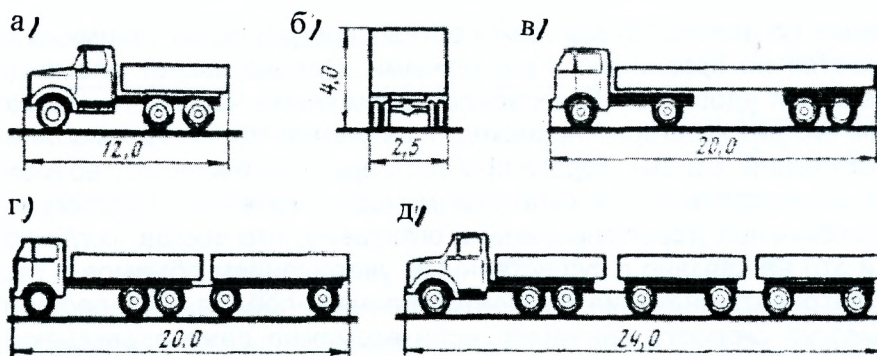


Рис. 3.1. Предельные габаритные размеры автомобилей и автопоездов, допускаемых к движению на дорогах: а, б – грузовой автомобиль; в – двухосный седельный тягач с полуприцепом; г – трехосный тягач с двухосным прицепом; д – трехосный тягач с двумя двухосными прицепами

В современной дорожной практике принято проектировать дороги с интенсивным движением на автомобили с нагрузкой на одиночную ось 100 кН, а при двух спаренных осях – 180 кН (автомобили группы А), остальные дороги – соответственно на 60 и 100 кН (автомобили группы Б). Это создает затруднения при организации перевозок, так как ограничивает возможность использования большегрузных автомобилей на многих дорогах, а при случайных заездах приводит к ускоренному их разрушению.

Отдельные автомобили, различные по типам, степени загрузки и техническому состоянию, следуя в одном направлении с разными скоростями по самостоятельным маршрутам, образуют на дороге *транспортный поток*. Очевидно, что чем больше автомобилей движется в потоке, тем более высокие требования должны быть предъявлены к устройству дороги. При обосновании требований к разным элементам дороги используют различные характеристики транспортного потока. Для назначения числа полос движения автомобилей при обосновании ширины земляного полотна и проезжей части решающее значение имеет количество автомобилей, проходящих по дороге за определенный срок, а не их нагрузка. Поэтому за основную характеристику движения по дорогам принимают общее количество автомобилей, проходящих через некоторое сечение дороги за единицу времени (сутки, час), называемое *интенсивностью движения*.

Обычно при оценке условий работы дороги интенсивность движения выражают в фактическом количестве проходящих автомобилей, суммируя автомобили независимо от их типов. В этом есть условность, так как проезд по дороге с малой скоростью нескольких автопоездов с тяжелыми прицепами неэквивалентен по продолжительности проезду равного числа быстроходных легковых автомобилей. Иногда для уточнения в составе движения указывают долю легковых, грузовых автомобилей и автобусов.

Поэтому для характеристики количества автомобилей, которые дорога может пропустить, *фактическую интенсивность* движения обычно приводят к эквивалентному количеству легковых автомобилей. Для этого вводят *коэффициенты приведения*, характери-

зующие, сколько легковых автомобилей могло бы проехать по участку дороги за время проезда одного грузового автомобиля или автопоезда. На эти коэффициенты умножают число автомобилей каждого типа и получают **приведенную интенсивность движения**. Согласно СНИП 2.05.02-85 при определении приведенной интенсивности движения используют коэффициенты, приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Коэффициенты приведения к легковому автомобилю

Типы транспортных средств	Коэффициент приведения
Легковые автомобили	1,0
Мотоциклы с коляской	0,75
Мотоциклы и мопеды	0,5
Грузовые автомобили грузоподъемностью, т:	
2	1,5
6	2,0
8	2,5
14	3,0
св. 14	3,5
Автопоезда грузоподъемностью, т:	
12	3,5
20	4,0
30	5,0
св. 30	6,0

Примечания: 1. При промежуточных значениях грузоподъемности транспортных средств коэффициенты приведения следует определять интерполяцией. 2. Коэффициенты приведения для автобусов и специальных автомобилей следует принимать как для базовых автомобилей соответствующей грузоподъемности. 3. Коэффициенты приведения для грузовых автомобилей и автопоездов следует увеличивать в 1,2 раза при пересеченной и горной местности.

Интенсивность движения меняется по длине отдельных участков дороги и, увеличиваясь вблизи городов, крупных населенных пунктов и железнодорожных станций, имеет наименьшее значение на средних участках маршрутов (рис. 3.2а). Интенсивность движения непостоянна в течение суток и резко снижается в ночное время (рис. 3.2б). Не остается она постоянной и в течение года и дней недели. На дорогах сельскохозяйственных районов в периоды уборки урожая объем перевозок и интенсивность движения значительно возрастают (рис. 3.2в). В праздничные дни движение грузовых автомобилей уменьшается, а легковых, наоборот, увеличивается. В связи с отмеченными частыми колебаниями интенсивности движения на дорогах ее можно надежно характеризовать только средними значениями за расчетный период времени.

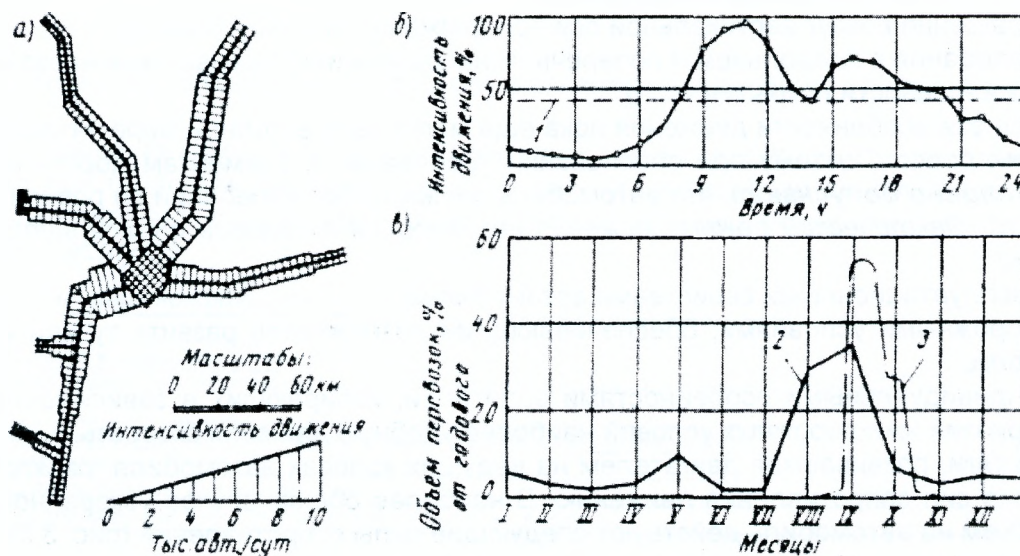


Рис. 3.2. Изменение интенсивности движения по дорогам: а – интенсивность движения на разных участках маршрутов на подходах к городу; б – изменение в течение суток интенсивности движения; в – изменение объема перевозок в течение года; 1 – среднесуточная среднегодовая интенсивность; 2 – перевозки зерна в сельскохозяйственных районах; 3 – вывозка сахарной свеклы

При проектировании дорог движение чаще всего характеризуют средним за год количеством автомобилей, проезжающих по участку в сутки, называемым *среднегодовой суточной интенсивностью движения*.

Интенсивность не является исчерпывающей характеристикой движения. Для решения некоторых задач проектирования и эксплуатации автомобильных дорог используют ряд других характеристик. Так, например, для *расчета толщины дорожной одежды имеет значение не только количество, но и размер нагрузок*. Один проезд тяжелого автомобиля оказывает на дорогу более разрушительное воздействие, чем проход большого числа легких автомобилей. Это обстоятельство учитывают пересчетом фактической интенсивности движения в *эквивалентную приведенную интенсивность* движения одного из тяжелых автомобилей, принимаемого за расчетный.

В последнее время практикуется использование прогрессивных методов оценки интенсивности движения. Например, в Бельгии, разработана и практически применена система определения интенсивности движения автомобилей с использованием технологии автоматического подсчета включенных мобильных телефонов, проезжающих через определенное сечение дороги. При этом, если в автомобиле их несколько, срабатывает система коррекции, исключая крупные ошибки на основании оценки расстояния между мобильными аппаратами.

При проектировании дорог промышленных предприятий, где движение легковых автомобилей практически отсутствует, транспортный поток характеризуют *грузонапряженностью* – массой нетто перевозимых за год грузов (в млн. т). Для детальной характеристики состава автомобилей обычно делят на **4 основные категории**: особой малой грузоподъемности – до 1 т, малой – от 1 до 2 т; средней – 2 до 5 т и большой – свыше 5 т.

Все это и обуславливает необходимость оперирования понятием **нормативная нагрузка** – нагрузка, устанавливаемая для целей расчета, нормами для каждого вида сооружения с учетом коэффициента условий работы.

3.2. Сопротивление движению автомобиля

Все элементы современной автомобильной дороги должны обеспечивать возможность безопасного движения автомобилей с расчетной скоростью. Чем выше интенсивность движения по дороге, тем большие взаимные помехи испытывают автомобили, и скорость их движения снижается. Поэтому требования к отдельным элементам трассы дороги устанавливают из *условия движения по дороге одиночного автомобиля*.

Движущийся автомобиль испытывает сложную систему перемещений:

- поступательное движение на прямых;
- вращение вокруг вертикальной оси при движении по закруглениям;
- колебания в продольном и поперечном направлениях, вызываемые наездами колес на неровности покрытия и т. д.

Не все эти особенности движения пока еще могут быть в полной мере учтены при проектировании дорог. Поэтому при обосновании требований к элементам дороги в плане и профиле **условно допускают**, что автомобиль движется без колебаний по ровной, твердой поверхности. *Фактический режим движения автомобиля по дороге определяется тремя факторами:*

- 1) эксплуатационными свойствами автомобилей;
- 2) дорожными условиями, обеспечивающими возможность развить ту или иную скорость;
- 3) индивидуальными особенностями водителей, избирающих в зависимости от восприятия ими дорожных условий наиболее удобную для себя скорость.

Сила тяги, развиваемая двигателем на ведущих колесах автомобиля, расходуется на преодоление сил сопротивления движению. В наиболее общем случае ускоренного движения на подъем на автомобиль действуют следующие силы сопротивлений (рис. 3.3):

- сопротивление качению (трение качения) P_f ;
- сопротивление движению на подъем P_b ;
- сопротивление воздуха P_w ;
- инерционные силы самого автомобиля и вращающихся масс его механизмов P_j , возникающие при изменении скорости движения.

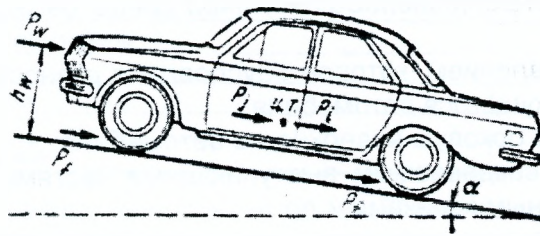


Рис. 3.3. Силы сопротивления движению, действующие на автомобиль

Силы сопротивления качению и сопротивления воздушной среде всегда действуют на движущийся автомобиль. Сопротивления движению на подъем и силы инерции в зависимости от продольного профиля дороги и режима движения автомобиля могут или отсутствовать, или даже иметь отрицательный знак, способствуя движению (например, при спуске под гору или при торможении).

Сопротивление качению вызывается затратой энергии на деформацию шин и дороги. На ровных цементобетонных и асфальтобетонных покрытиях основным фактором, определяющим сопротивление качению, является обжатие шин. На менее ровных покрытиях (щебеночных, гравийных, булыжных мостовых) добавляются наезды колес на неровности покрытия. На грунтовых дорогах с мягкой поверхностью сопротивление создается затратой усилий на деформирование шины и грунта при образовании колеи.

При движении по дорогам с твердыми покрытиями сопротивление качению прямо пропорционально давлению на дорогу

$$P_f = \sum G_i \cdot f_i, \quad (3.1)$$

где G_i – нагрузка на дорогу от отдельных колес, Н; f_i – коэффициенты сопротивления качению.

При движении по деформирующимся *грунтовым поверхностям* с образованием колеи существует более сложная зависимость между коэффициентом сопротивления качению и нагрузкой на колесо

$$P_f = \xi \cdot G_i \sqrt{H/D}, \quad (3.2)$$

где ξ – коэффициент, меняющийся от 0,75 до 1,0 в зависимости от состояния грунта (более влажному грунту соответствует большее значение); H – глубина колеи после прохода данного колеса, м; D – диаметр колеса, м.

Обычно коэффициент сопротивления качению относят к общему весу автомобиля, т. е. считают

$$f_{cp} = \sum P_f / G_{авт}, \quad (3.3)$$

где $\sum P_f$ – суммарное сопротивление качению всех колес автомобиля, Н; $G_{авт}$ – вес автомобиля, Н.

Сопротивление качению зависит от ровности покрытия, скорости и эластичности шины. Однако при скоростях движения ниже 50 км/ч сопротивление качению возрастет настолько медленно, что коэффициент сопротивления качению можно считать практически постоянным (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Значения коэффициента сопротивления качению f

Покрытие	Значение f
Цементобетонное и асфальтобетонное	0,01–0,02
Из щебня или гравия, обработанных органическими вяжущими материалами, с ровной поверхностью	0,02–0,025
Из щебня или гравия, не обработанных вяжущими, с небольшими выбоинами	0,03–0,04
Булыжная мостовая	0,04–0,05
Грунтовая дорога, ровная, сухая и плотная	0,03–0,06
Пашня, переувлажненный заболоченный грунт, сыпучие пески	0,15–0,30

При скоростях, близких к расчетным, для дорог с ровной, твердой поверхностью можно принимать, что коэффициент сопротивления качению при скорости V ($60 < V < 150$ км/ч) подчиняется зависимости

$$f_v = f_0 \cdot (1 + 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot V^2), \quad (3.4)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при скоростях до 60 км/ч.

Аэродинамическое сопротивление воздушной среды движению автомобиля вызывается:

- 1) лобовым сопротивлением, которое обусловлено разностью давления воздуха спереди и сзади движущегося автомобиля;
- 2) трением воздуха о боковую поверхность автомобиля;
- 3) сопротивлением, создаваемым выступающими частями автомобиля – крыльями, зеркалами, номерными знаками и др.;
- 4) затратой мощности на завихрение воздушных струй за автомобилем, около колес и под кузовом;
- 5) сопротивлением воздуха, проходящего через радиатор и подкапотное пространство.

В результате неравномерного обтекания и образования завихрений давление воздуха на поверхность движущегося автомобиля неравномерно. Имеются зоны *повышенного давления* (радиатор, лобовое стекло) и *разряжения* (капот, днище, крыша и задняя часть автомобиля) (рис. 3.4).

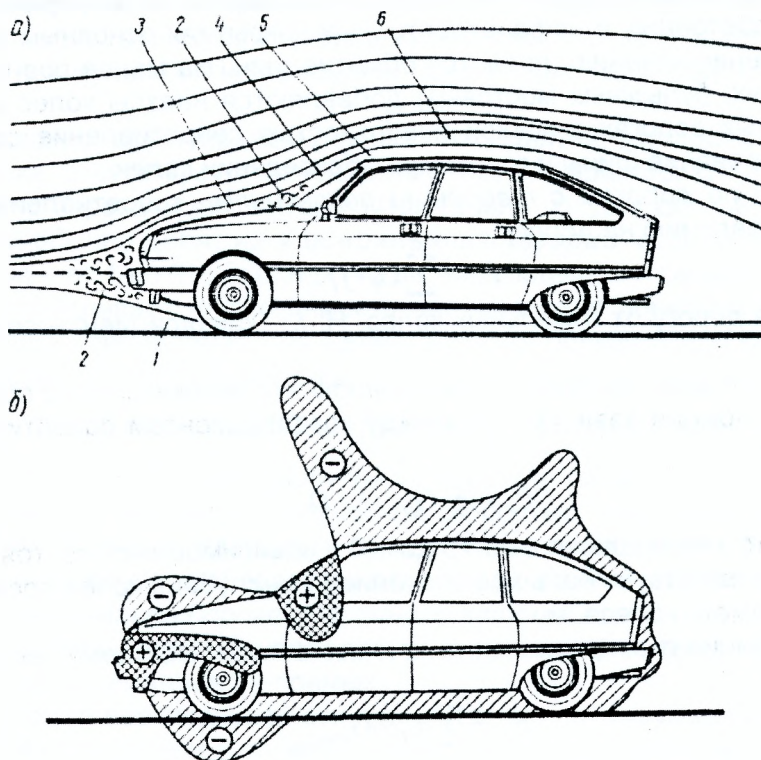


Рис 3.4. Распределение давления воздуха на автомобиль: а – картина обтекания движущегося автомобиля воздухом; б – эпюра распределения давления по вертикальной плоскости симметрии; 1 – нижний поток воздуха; 2 – зоны повышенного давления; 3 – участок отрыва воздушных струй; 4 – прилипание воздушных струй; 5 – зона разрежения при большой скорости; 6 – верхний поток воздуха (знаком «+» обозначены зоны повышенного давления; знаком «-» – зоны разрежения).

Суммарная сила сопротивления воздуха движению автомобиля (в Н) выражается формулой аэродинамики

$$P_{\omega} = \frac{c \cdot \rho \cdot \omega \cdot V^2}{3,6^2} = \frac{c \cdot \rho \cdot \omega \cdot V^2}{13}, \quad (3.5)$$

где c – коэффициент сопротивления среды (безразмерная величина, зависящая от формы тела, движущегося в воздухе, а также от гладкости его поверхности); ρ – плотность воздуха, равная на уровне моря $0,125 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$; ω – площадь проекции автомобиля на плоскость, перпендикулярную направлению его движения («лобовая площадь»), м^2 ; V – скорость движения автомобиля относительно воздушной среды, $\text{км}/\text{ч}$; при попутном ветре $V=V_{\text{авт}}-V_{\text{в}}$, при встречном ветре $V=V_{\text{авт}}+V_{\text{в}}$.

Произведение $c \cdot \rho$ при тяговых расчетах автомобилей заменяют *коэффициентом сопротивления воздуха* $K_{\text{в}}$, определяемым экспериментально (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Значения коэффициента сопротивления воздуха K_a

Автомобиль	$K_a, \text{H} \cdot \text{c}^2 / \text{M}^4$	ω, M^2
Грузовой	0,60-0,70	3,0-7,0
Автобус с кузовом вагонного типа	0,25-0,50	4,5-7,0
Легковой	0,15-0,30	1,4-1,6
Обтекаемый спортивный, гоночный	0,10-0,15	1,0-1,5

Площадь лобовой проекции вычисляют по приближенным формулам: для современных легковых автомобилей $\omega=0,8BH$, для автобусов и грузовых автомобилей с кузовом фургон $\omega=0,9BH$ (где B, H – габаритные ширина и высота автомобилей, м).

Сопротивление движению на подъем с уклоном i создается в результате необходимости дополнительных затрат энергии на перемещение автомобиля по наклонной поверхности дороги на некоторую высоту. Для перемещения автомобиля по участку подъема длиной L на высоту H нужна работа на преодоление силы тяжести $F=GH$. Пренебрегая разницей между фактической длиной наклонного участка дороги и его горизонтальной проекцией, несущественной для допускаемых на автомобильных дорогах продольных уклонов, можно выразить сопротивление движению на подъем на единицу пути

$$P_i = F / L = GH / L = G \cdot i. \quad (3.6)$$

Сопротивление инерционных сил автомобиля, возникающее при изменении его скорости, складывается из сил инерции поступательного движения и инерционных моментов вращающихся частей автомобиля. При массе автомобиля $m=G/g$ и скорости автомобиля V (в м/с) инерционная сила поступательного движения

$$P_j = m \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{G}{g} \cdot \frac{dV}{dt} = G \cdot j, \quad (3.7)$$

где dV/dt – ускорение автомобиля; $j = \frac{1}{g} \cdot \frac{dV}{dt}$ – относительное ускорение.

Наряду с инерцией поступательного движения при изменении скорости движения возникает инерция вращающихся частей автомобиля (колес, маховиков, механизмов трансмиссии). Для ее учета к инерции поступательного движения обычно вводят поправочный коэффициент учета вращающихся масс δ_{ep} , который представляет собой отношение полной силы, необходимой для разгона всех поступательно движущихся вращающихся частей автомобиля, к силе, необходимой только для разгона поступательно движущихся масс

$$\delta_{ep} = \frac{P_{j \text{ ном}} + P_{f \text{ впр}}}{P_{f \text{ ном}}}. \quad (3.8)$$

Поэтому окончательное выражение для инерционной силы автомобиля имеет вид

$$P_j = \delta_{ep} G \cdot j. \quad (3.9)$$

Чем больше передаточное число коробки передач, тем выше значение коэффициента δ_{ep} . Для прямой передачи коэффициент колеблется в пределах 1,03-1,07, при других передачах увеличивается примерно по зависимости

$$\delta_{ep} = 1,04 + n \cdot i_k^2, \quad (3.10)$$

где n – коэффициент, равный 0,03-0,05 для легковых автомобилей и 0,06-0,07 для грузовых; i_k – передаточное число коробки передач.

3.3. Динамические характеристики автомобиля

Механическая энергия, вырабатываемая двигателем автомобиля, передается через трансмиссию автомобиля на его ведущие колеса. Вращающий момент колеса M_{ep} вызывает появление пары сил. Одна из них окружная сила P_k , приложенная к площадке контакта шины с покрытием, передаваясь на покрытие, как бы стремится сдвинуть его верхний слой в сторону, противоположную движению, вторая сила – тяговое усилие P_p – передается через ведущий мост и рессоры на раму автомобиля и вызывает его движение (рис 3.5).

Тяговое усилие определяется по формуле

$$P_p = M_{ep} / r_k, \quad (3.11)$$

где $r_k = \lambda \cdot r_o$ – радиус качения ведущих колес с учетом обжатия шины в зоне контакта с покрытием (рис. 3.5). Коэффициент деформации шины λ на твердой поверхности составляет 0,945-0,950 для пневматических шин высокого давления, применяемых на грузовых автомобилях, и 0,930-0,935 для шин низкого давления.

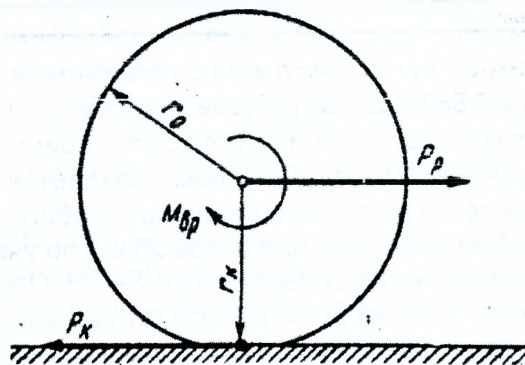


Рис. 3.5. Вращающий момент $M_{вp}$, окружная сила P_k и тяговое усилие P_p на колесах автомобиля

Вращающий момент на ведущих колесах $M_{вp}$ (в Н·м) может быть определен как произведение момента двигателя M_e на передаточные числа трансмиссии и механический коэффициент полезного действия (рис. 3.6)

$$M_{вp} = M_e \cdot i_k \cdot i_o \cdot \eta, \quad (3.12)$$

где i_k – передаточное число коробки передач; i_o – передаточное число главной передачи; η – механический коэффициент полезного действия трансмиссии автомобиля, учитывающий потери энергии на преодоление сопротивлений во всех механизмах от двигателя до ведущих колес. Примерные значения к.п.д. трансмиссии составляют для двухосных грузовых автомобилей и автобусов 0,9, для трехосных грузовых автомобилей – 0,8, для легковых автомобилей – 0,92.

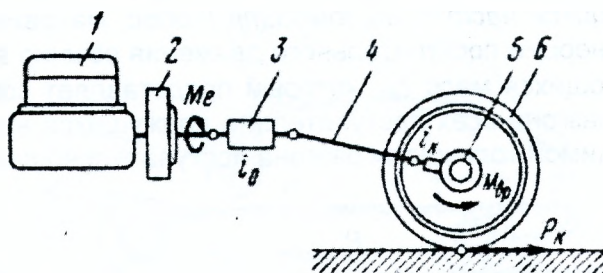


Рис. 3.6. Схема передачи вращающего момента двигателя на колеса автомобиля: 1 – двигатель; 2 – маховик и сцепление; 3 – коробка передач; 4 – карданный вал; 5 – главная передача; 6 – шина

Отсюда тяговое усилие (в Н)

$$P_p = \frac{M_e \cdot i_k \cdot i_o \cdot \eta}{r_k}. \quad (3.13)$$

Учитывая, что вращающий момент, развиваемый двигателем, связан с его мощностью N_e (в Вт) и частотой вращения коленчатого вала n_e (в об/мин) зависимостью $M_e = N_e / n_e$, выражение (3.13) можно привести к виду

$$P_p = 716,2 \frac{N_e \cdot i_k \cdot i_o \cdot \eta}{n_e \cdot r_k}. \quad (3.12)$$

Каждой частоте вращения коленчатого вала n_e соответствует строго определенная скорость движения автомобиля, выражаемая:

в метрах в секунду (в м/с)

$$V = \frac{2\pi \cdot r_k \cdot n_e}{60 \cdot i_k \cdot i_o}; \quad (3.14)$$

в километрах в час (в км/ч)

$$V = 0,377 \frac{r_k \cdot n_e}{i_k \cdot i_o} \quad (3.15)$$

При постоянной скорости вращения коленчатого вала использование понижающих передач приводит к увеличению тяговой силы при соответствующем уменьшении скорости автомобиля. Поэтому при движении автомобиля по хорошей дороге, когда сопротивление качению мало, используется прямая передача ($i_k=1$). При движении на подъем и по плохой дороге переходят на низшие передачи.

Мощность N_e и вращающий момент M_e , развиваемые двигателем, зависят от частоты вращения коленчатого вала. Эти зависимости характеризуются *экспериментальным графиком внешней скоростной характеристики двигателя* (рис. 3.7), который обычно получают путем испытания двигателей при полном открытии дроссельной заслонки карбюратора в карбюраторных двигателях или полной подаче топливного насоса в дизелях. Поэтому график внешней скоростной характеристики позволяет оценить максимальную мощность, которую может развивать двигатель при той или иной частоте вращения коленчатого вала.

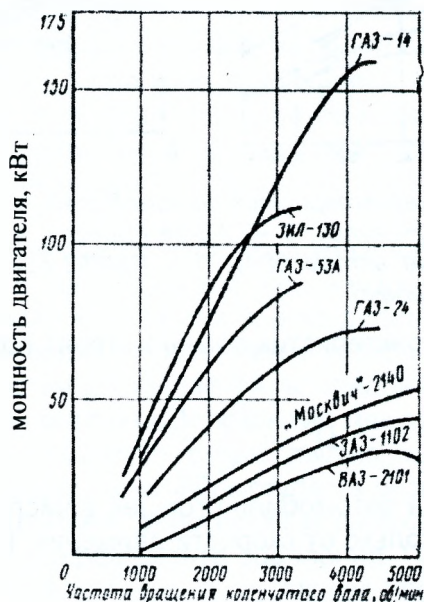


Рис. 3.7. Внешние скоростные характеристики двигателей некоторых автомобилей

Условие равенства внешних и внутренних сил (уравнение движения автомобиля) выражается зависимостью

$$P_p = P_f \pm P_i + P_w \pm P_j, \quad (3.16)$$

где P_p — тяговое усилие автомобиля, Н; P_f — сопротивление качению; P_i — сопротивление движению на подъем; P_w — сопротивление воздуха движению; P_j — сопротивление инерционных сил.

Переносим сопротивление воздушной среды, зависящее от скорости движения, в левую часть уравнения и подставив значения сопротивлений из формул (3.3), (3.6) и (3.7), получим

$$P_p - P_w = G \cdot f \pm G \cdot i \pm G \cdot j. \quad (3.17)$$

Академик Е. А. Чудаков предложил характеризовать тяговые или динамические качества автомобиля *динамическим фактором* — разницей между полной силой тяги на ведущих колесах и сопротивлением воздушной среды, отнесенной к единице веса автомобиля:

$$D = \frac{P_p - P_w}{G} = f \pm i \pm j. \quad (3.18)$$

Динамический фактор характеризует запас тягового усилия на единицу веса автомобиля, движущегося со скоростью V , который может быть израсходован на преодоление дорожных сопротивлений $f \pm i$ и на ускорение автомобиля j .

Как сила тяги, так и сопротивление воздуха зависят от скорости движения. Поэтому значение динамического фактора не остается постоянным при изменении скорости. График зависимости динамического фактора от скорости движения при полной нагрузке на

автомобиль, называемый динамической характеристикой (рис. 3.8), используется при тяговых расчетах на автомобильных дорогах как основной показатель тяговых качеств автомобилей.

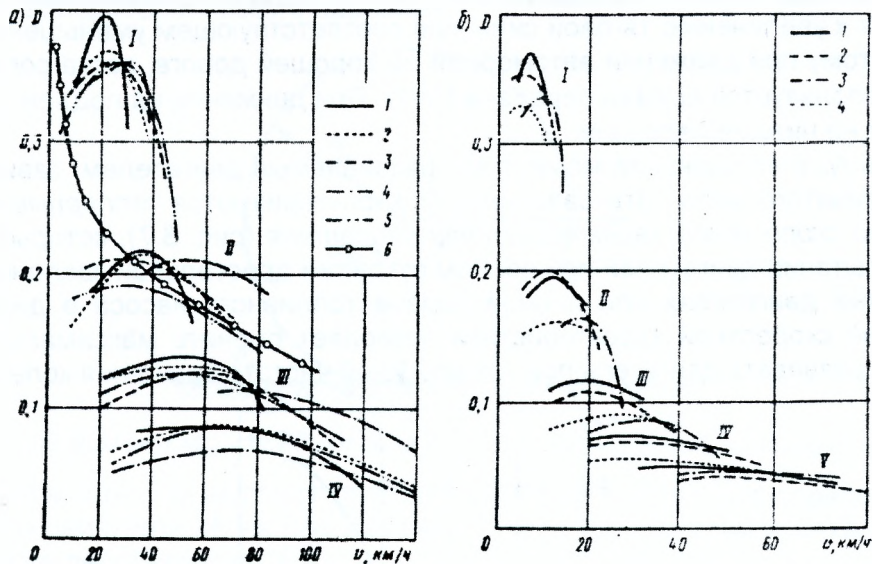


Рис. 3.8. Примеры динамических характеристик автомобилей: а – легковые автомобили: 1 – ГАЗ-968 «Запорожец»; 2 – ВАЗ-2103 «Жигули»; 3 – ГАЗ-24 «Волга»; 4 – ГАЗ-13 «Чайка»; 5 – «Москвич-2140»; 6 – ЗИЛ-111; б – грузовые автомобили: 1 – КаМАЗ-5320 с полуприцепом; 2 – ЗИЛ-130; 3 – ГАЗ-53А; 4 – ГАЗ-51А; I-V – передачи

Графики динамических характеристик обычно строят применительно к случаю полной загрузки автомобилей

$$D_{\text{плн}} = \frac{P_p - P_{\omega}}{G_{\text{полн}}} \quad (3.19)$$

При изменении нагрузки на автомобиль стоящее в числителе (3.19) выражение не меняется, поскольку оно зависит только от скорости движения. Поэтому при постоянной скорости соблюдается соотношение

$$D_{\text{плн}} \cdot G_{\text{плн}} = D_o \cdot G_1 = P_p - P_{\omega} \quad (3.20)$$

Отсюда $D_o = D_{\text{плн}} \frac{G_{\text{плн}}}{G_1}$, т. е. при неполной загрузке автомобиля его динамический фактор

обратно пропорционален сумме полезной нагрузки на автомобиль и его собственного веса G_1 .

При необходимости учета степени загрузки автомобилей при расчетах скоростей движения по предложению проф. Н. А. Яковлева к графику динамических характеристик пристраивают вспомогательную номограмму нагрузок (рис. 3.9).

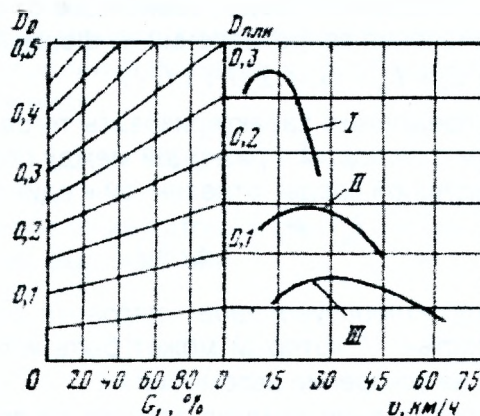


Рис. 3.9. Дополнительная номограмма для учета нагрузки на автомобиль при расчетах по динамическим характеристикам: I-III – передачи

3.4. Сцепление шин с поверхностью дороги

Тяговое усилие на колесах автомобиля, обеспечиваемое мощностью двигателя, может быть развито лишь в том случае, если между ведущими колесами и дорогой имеется *достаточное сцепление*. Отношение максимального тягового усилия на колесе P_k к вертикальной нагрузке на покрытие G_k , при превышении которого начинается пробуксовывание ведущего колеса или проскальзывание заторможенного, называется **коэффициентом сцепления** (φ) и соответственно $\varphi = P_k / G_k$.

В зависимости от направления сдвигающей силы, действующей на колесо, различают два вида коэффициента сцепления:

1) коэффициент продольного сцепления $\varphi_{пр}$, соответствующий началу проскальзывания заторможенного или пробуксовывания движущегося колеса при качении или торможении без действия на колесо боковой силы. Его используют при вычислении пути, проходимого автомобилем при экстренном торможении и при оценке возможности трогания автомобиля с места;

2) коэффициент поперечного сцепления $\varphi_{поп}$ – поперечная составляющая коэффициента сцепления при смещении ведущего колеса, катящегося под воздействием боковой силы под углом к плоскости качения, когда колесо, вращаясь, скользит вбок. Коэффициент $\varphi_{поп}$ характеризует *устойчивость автомобиля при проезде кривых малых радиусов*.

Многочисленные экспериментальные исследования коэффициентов сцепления показали, что на их значение *большее влияние оказывает состояние дорожного покрытия, чем его тип*.

При любых покрытиях *выступающие* над их поверхностью твердые минеральные частицы, которые делают покрытие шероховатым, при наезде колеса вдавливаются в резину протектора. При проскальзывании колеса они упруго деформируют резину, сопротивление которой является основной причиной сопротивления колеса смещению по покрытию. По мере износа шероховатость покрытия уменьшается, а, следовательно, уменьшается и сцепление его с колесом. *Впадины* на поверхности покрытия между выступами шероховатости при увлажнении или загрязнении заполняются грязью, пылью, продуктами износа шин и т.д., что уменьшает возможную глубину вдавливания выступов в резину. Пленка влаги, смачивая зону контакта между шиной и покрытием, действует как смазка, разделяющая резину и покрытие. Все это снижает значение коэффициента сцепления. При высоких скоростях движения шина не успевает полностью деформироваться, так как продолжительность контакта с покрытием для этого недостаточна, а, следовательно, неровности покрытия вдавливаются в шину на меньшую глубину. *В результате с ростом скорости коэффициент сцепления снижается*. На сухих покрытиях снижение коэффициента сцепления со скоростью менее ощутимо, чем на увлажненных.

При сильном износе или при малой высоте и расчлененности элементов протектора на мокром покрытии может возникать явление **аквапланирования**, когда между шиной и покрытием в начальной части зоны контакта накапливается вода, не успевающая выжаться в стороны. Под шиной образуется водяной клин, создающий гидродинамическую подъемную силу, снижающую давление колеса на дорогу (рис. 3.10). При слое воды на покрытии толщиной 2-3 мм нарушение контакта передних колес с покрытием и потеря управляемости автомобилем становятся возможными при скоростях, близких к 80-100 км/ч.

В среднем можно считать, что коэффициент продольного сцепления $\varphi_{пр}$ полностью заблокированных шин, имеющих слабоизношенный протектор, и гладкого влажного цементобетонного покрытия следующим образом *зависит от скорости*:

$V, \text{ км/ч}$	30	40	60	80	100	120	150	175;
$\varphi_{пр}$	0,50	0,45	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24.

Коэффициенты продольного сцепления при скорости 60 км/ч в зависимости от состояния покрытия и приведены в табл. 3.4.

Условия сцепления пневматических шин с поверхностью дороги связаны с погодными условиями. *Значения коэффициента сцепления меняются в течение года в широких пределах, повышаясь летом и значительно снижаясь в период зимних гололедов, когда для увеличения сцепления дорогу обрабатывают противогололедными материалами* (гигроско-

пических солями, песком, шлаком и др.) и на колеса автомобилей монтируют зимние шины.

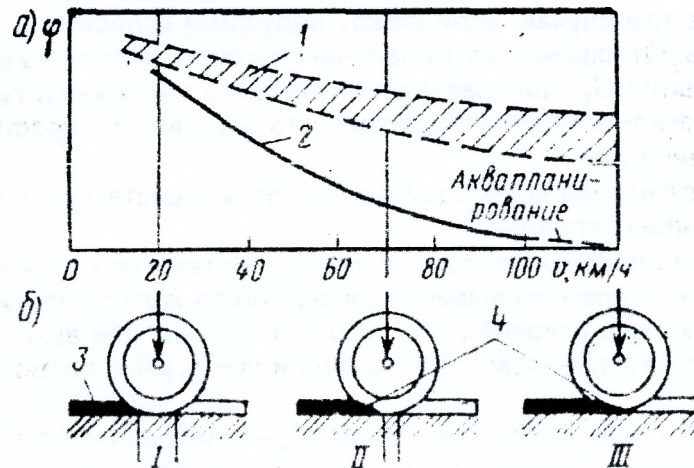


Рис. 3.10. Схема возникновения аквапланирования колес: а – принципиальная зависимость коэффициента сцепления шины с мокрым покрытием, б – схема уменьшения зоны контакта шины с мокрым покрытием при увеличении скорости; 1 – шины с новым протектором; 2 – изношенные шины; 3 – пленка воды >1 мм; 4 – водяной клин, образующийся под шиной; I – полная зона контакта колеса с покрытием; II – уменьшенная зона контакта; III – зона контакта отсутствует, возникло аквапланирование

Таблица 3.4. Значения коэффициентов продольного сцепления $\varphi_{пр}$ при скорости 60 км/ч

Покрытие	Значение $\varphi_{пр}$
Сухое шероховатое	0,7 и более
Сухое гладкое	0,6
Влажное	0,5
Мокрое	0,4-0,3
Грязное	0,2-0,3
Обледенелое	0,1-0,05

При обосновании геометрических элементов трассы исходят из значения коэффициента продольного сцепления при сухом чистом покрытии и скорости 60 км/ч $\varphi_{пр}=0,6$.

В увлажненном состоянии укладываемые на разных участках дорог покрытия должны удовлетворять при той же скорости требованиям, приведенным в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Условия движения автомобилей

Условия движения	Характеристика участков дорог	$\varphi_{пр}$, не менее
Легкие	Прямые участки, кривые с радиусами более 1000 м, продольные уклоны не более 30‰ при укрепленных обочинах, без пересечений в одном уровне при малой интенсивности движения.	0,45
Затрудненные	Участки с кривыми в плане с радиусами 250-1000 м, с продольными уклонами от 30 до 60‰. Дороги со средней интенсивностью движения.	0,50-0,45
Опасные	Участки с недостаточной видимостью, с уклонами, превышающими расчетный, зоны примыканий и пересечений в одном уровне. Дороги с высокой интенсивностью движения.	0,60

Условия сцепления ведущих колес с поверхностью дороги оказывают влияние на динамические возможности автомобиля. При малых коэффициентах сцепления большие тяговые усилия, обеспечиваемые мощностью двигателя, не могут быть использованы из-за недостатка сцепления между колесами и покрытием. Поэтому наряду с динамическими характеристиками по мощности двигателя при тяговых расчетах используются также динамические характеристики по условиям сцепления, получаемые из уравнения тягового баланса при замене в уравнении (3.17) силы тяги P_p по мощности двигателя ее максимальным значением, возможным по условиям сцепления шины с покрытием $P_p = G' \cdot \varphi_{пр}$, т. е.

$$G' \cdot \varphi_{пр} = G \cdot f \pm G \cdot i \pm G \cdot j + K_a \cdot \omega \cdot \frac{V^2}{13}, \quad (3.21)$$

где G' – нагрузка от ведущих колес на дорогу; K_e – коэффициент сопротивления воздуха; V – скорость движения автомобиля, км/ч.

Относя избыток сцепления над сопротивлением воздушной среды к единице веса автомобиля, получим выражение **динамической характеристики по сцеплению**

$$D_{cy} = f \pm i \pm j = \frac{G' \cdot \varphi_{np} - K_e \cdot \omega \cdot \frac{V^2}{13}}{G} \quad (3.22)$$

График динамических характеристик по условиям сцепления, пример которого дан на рис. 3.11, строят для ряда значений коэффициента сцепления φ_{np} . Совмещение его с графиком динамических характеристик по силе тяги позволяет выделить зоны, при которых обеспечивается возможность полного использования силы тяги.

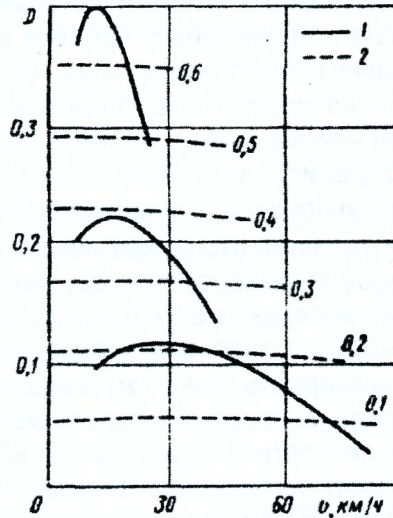


Рис. 3.11. Динамические характеристики автомобиля: 1 – по силе тяги; 2 – по сцеплению (цифры у пунктирных кривых – коэффициенты сцепления)

3.5. Продольные уклоны, преодолеваемые автомобилем

График динамических характеристик дает возможность решить ряд задач по исследованию условий движения автомобиля по дороге (рис. 3.12).

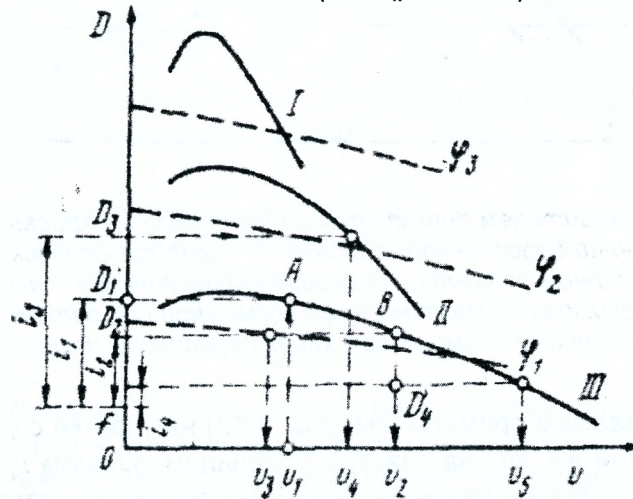


Рис. 3.12. График динамических характеристик, используемый для тяговых расчетов

1. Определение максимального уклона, преодолеваемого при той или иной постоянной («равновесной») скорости движения.

Для решения этой задачи:

- 1) на графике динамических характеристик от абсциссы, соответствующей заданной скорости движения V_1 , восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой динамической характеристики;

- 2) ордината этой точки А дает значение динамического фактора D_1 , равное сумме i_1+f+j ;
- 3) поскольку предусматривается, что движение происходит с постоянной скоростью, то $j=0$ и тогда $i_1= D_1-f$.

2. Определение постоянной скорости, с которой автомобиль может преодолеть заданный уклон i_2 , при коэффициенте сцепления φ_2 :

- 1) необходимый для выполнения этого условия динамический фактор определяется по формуле $D_2=f+i_2$;
- 2) отложив это значение на оси ординат и найдя соответствующую абсциссу точки В на кривой динамических характеристик, по силе тяги определяют скорость движения V_2 .

Поскольку изложенный метод расчета исходит из значения тягового усилия на ведущих колесах, полученный результат необходимо проверить на достаточность сцепления шин с покрытием. Точка на графике расположена *выше* кривой динамической характеристики по условиям сцепления при коэффициенте продольного сцепления φ_1 . Поэтому развиваемое при скорости V_2 тяговое усилие может вызвать пробуксовку и максимальная возможная скорость движения V_3 определится условиями сцепления.

На участке дороги с большим уклоном i_3 движение окажется возможным только на второй передаче со скоростью V_4 при условии, что коэффициент сцепления будет более φ_2 .

В рассмотренных случаях *предполагалось*, что движение автомобиля происходит при полностью открытой дроссельной заслонке, т.е. что полностью используется сила тяги, которую может развить автомобиль при достаточном коэффициенте сцепления. На участках с малыми продольными уклонами i_4 скорость при этом была бы чрезмерно велика, а движение опасно. *Практически водители* в зависимости от цели поездки, заданного графика движения, вводимых ограничений скорости или особенностей восприятия ими дорожной обстановки, как правило, *не реализуют полностью динамических возможностей автомобиля*. Изменяя степень открытия дроссельной заслонки, они используют промежуточные значения динамического фактора в зоне, ограниченной кривыми максимальных и минимальных значений динамических характеристик (рис. 3.13).

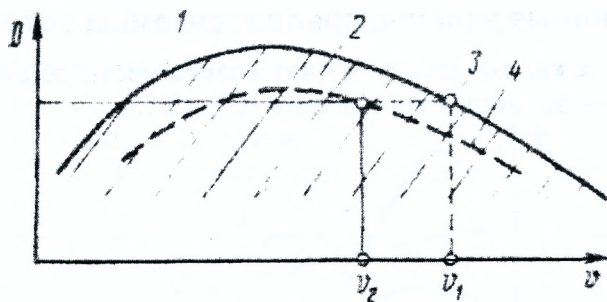


Рис. 3.13. К использованию водителем динамического фактора: 1 — кривая динамической характеристики при полном открытии дроссельной заслонки; 2 — зона практического использования динамического фактора при неполном открытии дроссельной заслонки; 3 — используемое значение динамического фактора при движении с максимальной возможной при полном открытии дроссельной заслонки скоростью; 4 — частная динамическая характеристика, используемая при движении со скоростью V_2

Чтобы в рассматриваемом примере (см. рис. 3.12) на участке с уклоном i_4 скорость автомобиля оставалась такой же, как на участке с большим уклоном i_2 , достаточно значение динамического фактора D_4 . Наблюдения за режимами движения автомобилей на подъемах показали, что большинство водителей используют следующую степень открытия дроссельной заслонки в зависимости от уклона:

уклон, %	0-20	20-40	40-70	70;
степень открытия дроссельной заслонки, %	40	50-60	60-85	100;
передача, используемая грузовыми автомобилями	IV, V	IV, V	III, II	I.

Для точных расчетов скорости движения на участках дорог с продольными уклонами необходимо исходить из графиков динамических характеристик, соответствующих разной степени открытия дроссельной заслонки.

3. Определение ускорения, развиваемого автомобилем при разгоне.

При коэффициенте сопротивления качению f , уклоне i и некоторой начальной скорости V ускорение поступательного движения автомобиля (в м/с^2)

$$j = \frac{dV}{dt} = \frac{g}{\delta_{\text{сп}}} [D_v - (f + i)], \quad (3.23)$$

где V – скорость автомобиля, м/с ; $\delta_{\text{сп}}$ – коэффициент влияния вращающихся масс автомобиля; D_v – значение динамического фактора при скорости V .

4. Определение длины пути, на котором при увеличении или уменьшении продольного уклона происходит изменение скорости автомобиля от V_{i1} до V_{i2} , соответствующей новому уклону.

Если, например, автомобиль въезжает на участок с большим продольным уклоном i_2 , то из-за избытка силы инерции $\frac{\delta_{\text{сп}} \cdot m \cdot (V_{i1}^2 - V_{i2}^2)}{2}$, затрачиваемой на преодоление дополни-

тельного подъема, скорость движения изменяется постепенно. При этом отрицательное ускорение при замедлении постепенно уменьшается. Когда оно уменьшится до нуля, дальнейшее движение происходит с постоянной скоростью. Протяженность участка, на котором вновь устанавливается равновесная скорость, можно определить приближенным способом, принимая ускорение в малых интервалах изменения скоростей постоянным. Вначале на основе графика динамических характеристик (рис. 3.14а) строят вспомогательную кривую ускорений, вычитая из значений динамического фактора для V_{i2} , значения дорожных сопротивлений $f+i_1$ (рис. 3.14б).

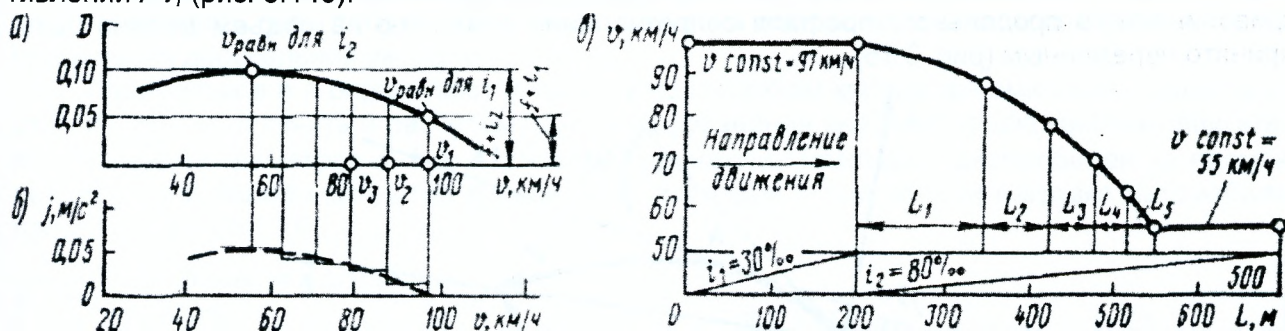


Рис. 3.14. Графическое определение пути, на котором устанавливается равновесная скорость: а – график динамических характеристик; б – график ускорений; в – построение для определения длины пути изменения скорости

Если обозначить в узком интервале скоростей V_1 и V_2 (км/ч) среднее значение ускорения через j_1 , то согласно закономерностям равномерно-замедленного движения расстояние, на котором происходит изменение скоростей

$$L_1 = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254 \cdot \delta_{\text{сп}} \cdot j_1}. \quad (3.21)$$

Расстояние, на котором происходит изменение скоростей, определится как сумма расстояний L_1, L_2, \dots , рассчитанных для всех выделенных интервалов (рис. 3.14в).

5. Определить, может ли за счет накопленной инерции автомобиль, входящий на подъем со скоростью V_1 , преодолеть короткий участок дороги длиной L с уклоном i_{max} , превышающим предельный уклон i , найденный по условиям равновесного движения.

В конце подъема скорость должна быть не менее V_2 . Точнее решение этой задачи для каждого конкретного автомобиля может быть получено по уравнению (3.31). Приближенное решение, пренебрегающее изменением сопротивления воздуха, что направлено в запас надежности расчета, находят из следующих соображений:

1) при постоянной силе тяги двигателя в начале участка сила инерции автомобиля равна $\frac{\delta_{ep} G}{254g} V_1^2$, а в конце участка $-\frac{\delta_{ep} G}{254g} V_2^2$;

2) потеря в живой силе затрачивается на преодоление дополнительного сопротивления движению на подъем $(i_{max} - i)$. Эта работа на пути L составляет $LG(i_{max} - i)$. Отсюда

$$L \cdot G \cdot (i_{max} - i) = \frac{\delta_{ep} \cdot G \cdot (V_1^2 - V_2^2)}{254 \cdot g} \quad (3.22)$$

Таким образом, длина преодолеваемого по инерции участка с уклоном, превышающим предельный, при равновесной скорости составляет

$$L = \frac{\delta_{ep} \cdot (V_1^2 - V_2^2)}{254 \cdot (i_{max} - i)}, \quad (3.23)$$

где V_1, V_2 – скорости автомобиля, км/ч.

3.6. Особенности движения автомобиля по криволинейному продольному профилю

На современных автомобильных дорогах участки, имеющие различные продольные уклоны, сопрягают вставкой вертикальных кривых больших радиусов. В условиях пересеченного рельефа местности протяженность вертикальных кривых иногда превышает 50% общей длины дорог высших категорий.

При движении автомобиля по криволинейному продольному профилю преодолеваемый продольный угол непрерывно изменяется, в связи с чем меняется и скорость автомобиля. Это делает условными выводы, вытекающие из рассмотренных выше формул движения с «равновесными скоростями». Поэтому в уравнении движения автомобиля для случая криволинейного продольного профиля сопротивление движению на подъем должно быть принято переменным (рис. 3.15).

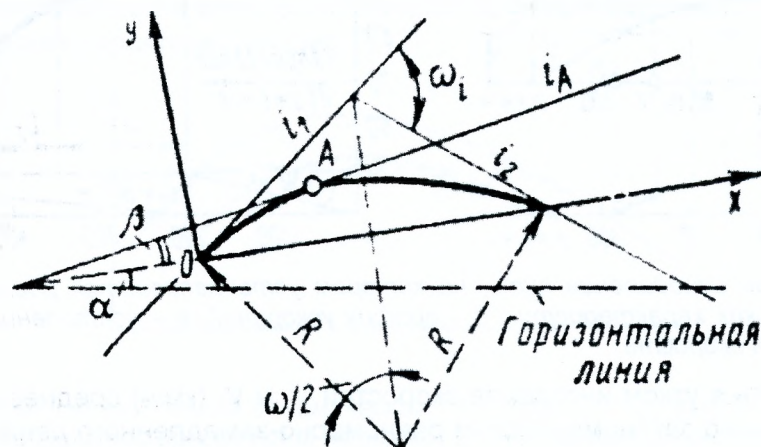


Рис. 3.15. Схема к выводу уравнения движения автомобиля по вертикальным кривым

Решения для движения автомобиля по криволинейному продольному профилю были предложены А. Е. Вельским и К. А. Хавкиным. Вертикальные кривые на автомобильных дорогах обычно разбивают по квадратичной параболе

$$y = \pm \frac{l}{2R} x^2, \quad (3.24)$$

аппроксимирующей круговую кривую. Знак «-» относится к выпуклым кривым, знак «+» – к вогнутым.

Если расположить начало координат в начале выпуклой вертикальной кривой в точке O таким образом, чтобы ось x совпадала с хордой вертикальной кривой, то уравнение вертикальной кривой будет иметь вид

$$y = \frac{\omega}{2} x - \frac{l}{2R} x^2. \quad (3.25)$$

Уклон в некоторой точке А на кривой

$$i_A = \alpha + \beta = \alpha + \frac{d[f(x)]}{dx} = \alpha + \frac{\omega}{2} - \frac{x}{R}, \quad (3.26)$$

где α – угол наклона к горизонту хорды, стягивающей вертикальную кривую и являющейся одной из осей координат; $\beta = \frac{d[f(x)]}{dx}$ – угол наклона касательной к вертикальной кривой по отношению к хорде (оси x), меняющийся по длине кривой.

Согласно рис. 3.15 внешний угол перелома проектной линии $\omega = i_1 + i_2$, угол наклона хорды к горизонтالي

$$\alpha = i_1 - \frac{\omega}{2} = \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (3.27)$$

Углы α , β и ω должны быть выражены в радианах.

Подставляя найденное значение α в уравнение (3.26), получаем, что уклон в точке А

$$i_A = i_1 - \frac{x}{R}. \quad (3.28)$$

При выводе этой формулы в связи с малыми значениями продольных уклонов, допускаемых на автомобильных дорогах, пренебрегали разностью в длинах, измеряемых для одной и той же точки по хорде и ее горизонтальной проекции.

Правые части кривых на графиках динамических характеристик за точкой максимума могут быть выражены уравнением вида

$$D = \frac{a - bV^2}{G}, \quad (3.29)$$

где G – вес автомобиля, Н; V – скорость автомобиля, м/с; a , b – параметры, характеризующие зависимость силы тяги от скорости движения на разных передачах и при разной степени открытия дроссельной заслонки.

Параметры a и b определяют подбором по графикам кривых динамических характеристик. Их можно получить и расчетом исходя из уравнения внешней характеристики двигателя. Значения параметров a , b и μ для случая движения некоторых автомобилей на прямой передаче при полном открытии дроссельной заслонки и при полной нагрузке автомобиля приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Значения параметров a , b и μ

Автомобиль	a , Н	b , Н·с ² /м ²	μ , 1/м
ЗИЛ-114	2590	1,94	$4,9 \cdot 10^{-4}$
ГАЗ-24 «Волга»	2130	0,8	$4,1 \cdot 10^{-4}$
ВАЗ-2101	1330	0,45	$3,1 \cdot 10^{-4}$
«Москвич-412»	3120	1,9	$3,2 \cdot 10^{-4}$
ЗИЛ-130	4370	4,5	$3,0 \cdot 10^{-4}$
КамАЗ-5320	4400	3,1	$4,0 \cdot 10^{-4}$

Подставляя в основное уравнение динамического фактора автомобиля (3.18) значения переменного продольного уклона и уравнение динамической характеристики (3.29), получаем исходное дифференциальное уравнение для определения скоростей движения по выпуклому криволинейному продольному профилю

$$\frac{a - bV^2}{G} = f + i_1 - \frac{1}{R}x - \frac{\delta_{\text{вп}}}{g} \frac{dV}{dt}. \quad (3.30)$$

Решение дифференциального уравнения с учетом того, что $\frac{dV}{dt} = V \frac{dV}{dx}$, а также с учетом начального условия, что при $x=0$ скорость V_x равна начальной скорости V_n (в м/с), развитой в конце предшествующего участка, приводит к выражению

$$V_x = \sqrt{(V_n^2 \pm k_1) \cdot e^{-2\mu x} \pm k_2 x \mp k_1}, \quad (3.31)$$

где $\mu = \frac{bg}{\delta_{ep}G}$ (см. табл. 3.4); e – основание натурального логарифма; k_1 и k_2 – коэффициен-

ты, определяемые по формулам $k_1 = \frac{k_2}{\mu} \mp \frac{1}{b} \cdot [a - G \cdot (f \pm i_1)]$, $k_2 = \frac{G}{bR}$.

Для выпуклых кривых в формуле (3.31) следует принимать *верхние знаки*, для вогнутых кривых – *нижние*. Начальный продольный уклон i принимают для подъемов со знаком «+», для спусков – со знаком «-».

Поскольку в выражения (3.29), (3.30) и (3.31) входит вес автомобиля G , уравнение (3.31) может быть использовано для расчетов скоростей движения автопоездов и автомобилей при разной степени загрузки.

3.7. Торможение автомобиля

Нормальный эксплуатационный режим торможения соответствует неполной блокировке колес, при которой колесо катится по покрытию с небольшим пробуксовыванием. Такой режим торможения наиболее эффективен. Однако при аварийной ситуации и срочном торможении водитель не имеет возможности регулировать интенсивность нажатия тормозной педали и выжимает ее полностью. Торможение проходит при пониженных коэффициентах сцепления, которые и определяют при экспериментах.

Для характеристики интенсивности замедления автомобиля при торможении с выключенным сцеплением, когда силой, движущей автомобиль, является его инерция, может быть использовано уравнение движения автомобиля в следующем виде:

$$\delta_{ep} \cdot G \cdot j = P_T + P_{\omega} \pm P_i + P_f, \quad (3.32)$$

где P_{ω} , P_i , P_f – силы сопротивления движению; $P_T = \gamma_T G$ – тормозная сила; G – вес автомобиля; γ_T – коэффициент тормозной силы (интенсивности торможения), равный отношению суммы тормозных сил, возникающих на всех тормозных колесах, к весу автомобиля.

Параметр γ_T зависит от конструктивных особенностей тормозной системы автомобиля и ее состояния, а также от интенсивности торможения водителем. На значение параметра γ_T оказывает влияние также ровность проезжей части, так как при движении по покрытию, имеющему неровности, возникают колебания автомобиля, при которых в отдельные моменты рессоры разжимаются, уменьшая давление автомобиля на дорогу.

Подставляя в уравнение (3.32) значения сопротивлений движению, получаем отрицательное ускорение при торможении, характеризующее интенсивность замедления автомобиля

$$\delta_{ep} \cdot j = \frac{P_{\omega}}{G} + \gamma_T \pm i + f. \quad (3.33)$$

Длина пути, на котором водитель может остановить автомобиль, движущийся с расчетной скоростью, – **тормозной путь** – важная характеристика безопасности движения.

При расчетах тормозного пути для определения элементов плана и профиля автомобильных дорог условно принимают суммарное время $t_1 + t_2 + t_3$ (время реакции + время холостого хода педали тормоза + время нарастания тормозного усилия) равным 1 с, называя его *временем реакции водителя*. Оно приблизительно соответствует большой сосредоточенности внимания водителя при управлении автомобилем.

Путь, проходимый автомобилем за период *полного торможения*, можно рассчитать по формуле равномерно замедленного движения

$$V = \sqrt{2a \cdot S_T}, \quad (3.34)$$

где V – скорость в начале торможения, м/с; S_T – тормозной путь, м; a – абсолютное значение отрицательного ускорения (замедления) при торможении, м/с², равное $(\gamma_T + f \pm i)g$. При этом допускают, что сопротивление воздуха отсутствует, пренебрегают влиянием вращающихся масс автомобиля.

По действующим требованиям к тормозным механизмам автомобилей абсолютное значение замедления a должно составлять для грузовых автомобилей и автопоездов 5,5 м/с², для легковых автомобилей – 7 м/с².

Подставляя значение a в уравнение (3.34), получаем выражение для тормозного пути

$$S_T = \frac{V^2}{2g \cdot (\gamma_T + f \pm i)} \quad (3.35)$$

При расчетах, связанных с определением геометрических элементов плана и продольного профиля дорог, исходят из наиболее опасного случая – аварийного режима торможения с полной блокировкой колес, принимая γ_T равным коэффициенту сцепления φ_{np} . Однако в реальных условиях эксплуатации автомобилей из-за неточной регулировки тормозов, неравномерности распределения усилия между колесами и колебаний автомобиля при движении в процессе торможения не удастся реализовать теоретически возможную полную величину тормозной силы. Это учитывается введением в формулу тормозного пути поправочного коэффициента эффективности торможения K_3 . Поэтому расчетное значение тормозного пути

$$S_T = \frac{K_3 \cdot V^2}{2g \cdot (\varphi_{np} + f \pm i)} \quad (3.36)$$

По данным опытов для легковых автомобилей следует принимать $K_3=1,2$, а для грузовых автомобилей и автобусов $K_3=1,3-1,4$. При торможении на скользких покрытиях на всех колесах тормозные усилия достигают максимально возможного значения практически мгновенно. Поэтому при коэффициентах сцепления $\varphi_{np} \leq 0,4$ можно считать $K_3=1$. При расчетах геометрических элементов автомобильных дорог принимают среднее значение $K_3=1,2$.

Уравнение (3.36) дает заниженные результаты при расчетах для скоростей движения, превышающих 90–100 км/ч, поскольку оно не учитывает особенностей поведения водителя, тормозящего при высоких скоростях. Из-за опасности заноса торможение ведется вначале при легком нажиме на педаль без полного использования возможности тормозов и лишь со скорости 70–80 км/ч начинается интенсивное торможение. В этом случае $K_3=2,3$. На это значение следует ориентироваться при обосновании требований к геометрическим элементам автомобильных магистралей.

При расчетах элементов дорог для обеспечения большей безопасности движения за расчетный тормозной путь принимают путь, проходимый за период реакции водителя l_1 , путь, проходимый автомобилем за период полного торможения l_2 , и зазор безопасности между остановившимся автомобилем и препятствием l_3 , обычно принимаемый равным длине автомобиля (рис. 3.16). В этом случае при скорости V (в км/ч) формула для $S_{расч}$ (в м) принимает вид

$$S_T = l_1 + l_2 + l_3 = \frac{V}{3,6} + \frac{K_3 \cdot V^2}{254 \cdot (\varphi_{np} + f \pm i)} + l_3 \quad (3.37)$$

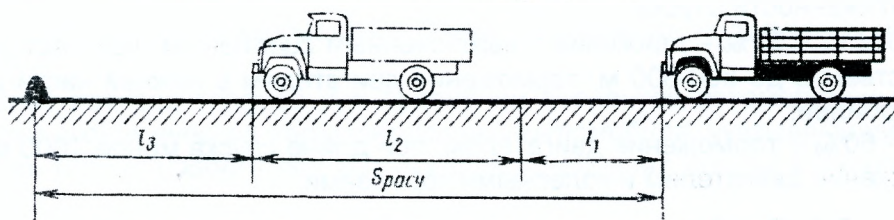


Рис. 3.16. Схема к определению тормозного пути: $S_{расч}$ – расчетный тормозной путь; l_1 – путь, проходимый за время реакции водителя; l_2 – путь торможения; l_3 – расстояние безопасности

При расчете скорости движения под уклон по графику динамических характеристик сопротивление от уклона входит в уравнение с отрицательным знаком

$$\frac{P_p - P_w}{G} = f \pm j - i \quad (3.38)$$

На крутых спусках ускорение приобретает большое значение, происходит разгон автомобиля и быстрое возрастание его скорости. Движение автомобиля под уклон с большими скоростями, особенно при неровном или скользком покрытии и наличии кривых в плане, очень опасно. Управление автомобилем затрудняется. Поэтому водители в зависимости от крутизны спуска принимают специальные меры снижения скорости – уменьшают подачу рабочей смеси в двигатель, периодически притормаживают, не выключая сцепления, или пе-

реходят на совместное торможение одновременно тормозами и двигателем, включая одну из понижающих передач.

Торможение автомобилей на спусках, особенно длинных, с использованием колесных тормозов нерационально, так как при длительном торможении коэффициент трения фрикционных накладок резко уменьшается из-за нагревания тормозных барабанов. Это снижает эффективность торможения и приводит к быстрому износу тормозов. Торможение двигателем осуществляется уменьшением подачи топлива при отпускании педали дроссельной заслонки. Однако снижению числа оборотов двигателя до частоты вращения на холостом ходу препятствует принудительное вращение коленчатого вала через механизм трансмиссии ведущими колесами со скоростью, соответствующей скорости автомобиля. В результате этого дополнительно появляется сила сопротивления $P_{ТД}$, увеличивающая сопротивление движению. Значение $P_{ТД}$ на ведущих колесах при полностью закрытой дроссельной заслонке и при движении на прямой передаче для легковых автомобилей может быть найдено по эмпирической формуле

$$P_{ТД} = 9,5W_{д} + \frac{0,25 \cdot G \cdot V}{100}, \quad (3.39)$$

где $W_{д}$ – рабочий объем двигателя, л; V – скорость, км/ч; G – вес автомобиля, Н.

Движущей автомобиль силой является параллельная уклону дороги составляющая его веса, силами сопротивления движению являются тормозная сила двигателя и силы сопротивлений воздуха и качению автомобиля.

Равновесная скорость, которая устанавливается при торможении двигателем, может быть рассчитана теоретически на основе общей формулы уравнения движения (3.17) и оп-

ределится как $-\frac{P_{ТД} + P_{\omega}}{G} = f - i$.

Эффект торможения двигателем проявляется особенно сильно при включении понижающих передач, обуславливающих при той же скорости автомобиля более быстрое вращение вала двигателя. Для расчетов, соответствующих этому случаю, в уравнении (3.39) вместо V подставляют величину $V \cdot i_k$, где i_k – передаточное число включенной передачи.

На избираемый водителями режим движения на спусках большое влияние оказывают особенности восприятия ими условий движения – длина спуска, продольный уклон, ясность дорожных условий в конце спуска.

Наблюдения показывают, что на спусках чаще всего используются следующие *режимы движения*:

- при уклоне $i \leq 20\%$ – движение с тяговым усилием на ведущих колесах независимо от протяженности спуска;
- при $30\% < i < 50\%$ – движение с выключенным сцеплением на участках длиной соответственно до 500-300 м, торможение двигателем в нижней части для грузовых автомобилей;
- при $i > 60\%$ – торможение двигателем; при длине спуска менее 1000 м совместное торможение двигателем и колесными тормозами.

3.8. Особенности тяговых расчетов автопоездов

В равных дорожных условиях производительность автопоезда в 1,5-2,0 раза выше, чем у автомобиля-тягача без прицепов. Чтобы обеспечить эффективное использование автопоездов, дороги должны удовлетворять более высоким требованиям, чем в случае движения одиночных автомобилей.

Динамический фактор автопоезда меньше, чем одиночного автомобиля, поскольку при большей общей массе сила тяги остается такой же. В то же время сопротивление движению у автопоезда выше. Из-за трения в сцепных приборах и поворотном круге, а также из-за раскачиваний прицепов на ходу, сопротивление качению у автопоезда возрастает с увеличением количества прицепов. Увеличивается также и сопротивление воздуха, так как каждый дополнительный прицеп добавляет трение воздуха о боковую поверхность и завихрение воздушных струй за собой.

Уравнение динамического фактора для автопоезда имеет вид

$$\frac{P_p - P_{\text{оан}}}{G_a + G_{\text{np}}} = f_1 \pm i \pm j \cdot \delta_{\text{ан}}, \quad (3.40)$$

где $P_{\text{оан}}$ – сопротивление воздуха движению автопоездов; G_a – вес автомобиля; G_{np} – вес прицепов; f_1 – коэффициент сопротивления качению для автопоездов; $\delta_{\text{ан}}$ – коэффициент учета вращающихся масс автопоезда.

Для практических расчетов можно принять, что коэффициент обтекаемости возрастает от каждого прицепа на 25-30%, для полуприцепа – на 10%, а коэффициент сопротивления качению – на 4-5%.

Еще более неблагоприятные результаты дает проверка на обеспеченность сцепления ведущих колес с покрытием при трогании с места. В этом случае при отсутствии сопротивления воздуха уравнение движения автопоезда имеет вид

$$\frac{\varphi_{\text{np}} \cdot G_{\text{ци}}}{G_a + G_{\text{np}}} = f_1 \pm i \pm j \cdot \frac{\delta_{\text{ан}}}{g}. \quad (3.41)$$

Проф. Я. Х. Закин предлагает также учитывать при расчетах на трогание автопоездов с места возникающие дополнительные сопротивления, увеличивая коэффициент сопротивления качению для летних условий в 1,5-2,5 раза, для зимних – в 2,5-5 раз.

Для повышения безопасности движения современные автомобильные прицепы снабжаются тормозами, управляемыми с автомобиля, что и определяет общий вид уравнения движения автопоезда при торможении

$$\frac{-\varphi_{\text{np}} \cdot P_T - P_{\text{оан}}}{G_a + G_{\text{np}}} = f_1 \pm i \pm j \cdot \frac{\delta_{\text{ан}}}{g}, \quad (3.42)$$

где P_T – нагрузка на тормозные оси.

Путь, проходимый заторможенным автопоездом, *превышает путь* одиночного автомобиля. Интенсивность торможения при остановке автопоездов ниже, чем одиночных автомобилей, так как резкое торможение автопоезда вызывает опасность заноса прицепов или наезда их на автомобиль.

Из изложенного следует, что при проектировании дорог, по которым предполагается интенсивное движение автомобильных поездов, *нецелесообразно применять большие продольные уклоны*. Желательно, чтобы независимо от категории дорог они не превышали 30-40‰, а при невозможности этого на участках подъемов должны быть *предусмотрены дополнительные полосы проезжей части*.

3.9. Расход топлива и износ шин в зависимости от дорожных условий

Расход топлива при автомобильных перевозках зависит от дорожных условий и режимов движения.

Для оценки расхода топлива при сравнении вариантов автомобильных дорог может служить *график экономической характеристики автомобиля*, указывающий расход топлива в литрах на 100 км пробега при разных сопротивлениях дороги и скоростях движения (рис. 3.17).

График экономической характеристики строят для разных передач в виде семейства кривых, каждая из которых относится к определенному значению суммы дорожных сопротивлений – сопротивления движению и сопротивления движению на подъем ($\psi=f+i$). Огибающие семейства кривых для каждой передачи соответствуют полному открытию дроссельной заслонки. Экономические характеристики автомобилей могут быть получены расчетным путем и сняты экспериментально.

Расход топлива при построении графика экономических характеристик принято выражать в литрах на 100 км пути, который возможно рассчитать по формуле

$$Q_{100} = q_e \cdot \frac{K_e \cdot \omega \cdot V^2}{3,6^2} + G \cdot \psi, \quad (3.44)$$

где q_e – удельный расход топлива, г/(кВт·ч); K_e – коэффициент сопротивления воздуха; η_{TP} – КПД трансмиссии автомобиля; γ – плотность топлива, г/см³.

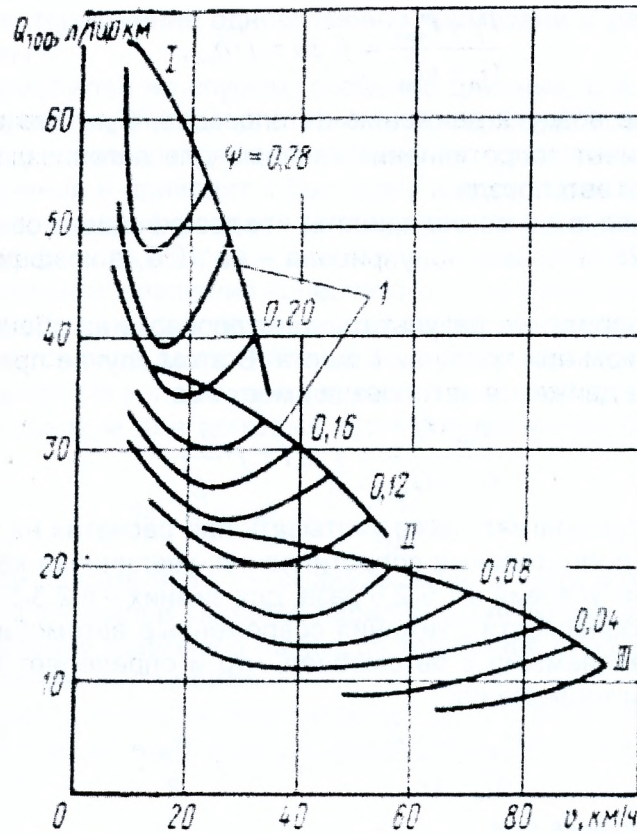


Рис. 3.17. Пример графиков экономической характеристики: I – III – группы кривых, относящихся к случаям движения на I–III передачах; 1 – кривые максимальных расходов топлива при движении с разными скоростями (цифры на кривых характеризуют дорожные сопротивления $\psi=f+i$)

От скорости автомобиля на отдельных участках зависит также износ шин. Высокие скорости движения значительно повышают износ шин (рис. 3.18). Это вызывается значительным нагреванием шин, а также увеличением силы ударов о неровности дорожной одежды. Износ шин зависит также от типа покрытия.

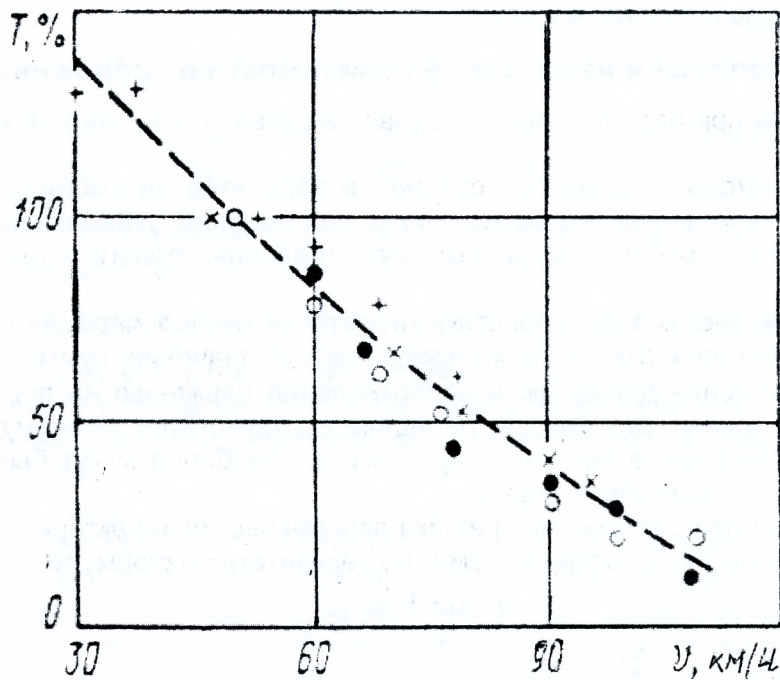


Рис. 3.18. Зависимость износа шин от скорости движения: T – относительный срок службы шин, %. Различные условные знаки относятся к данным разных авторов

Если принять пробег шин на дорогах с ровным твердым усовершенствованным покрытием за 100%, то на дорогах с менее ровными покрытиями (щебеночные, гравийные, булыжная мостовая) он снижается на 25-30%, а на дорогах с покрытиями с большим количеством деформаций – на 50%.

4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

4.1. Характеристики режимов движения потоков автомобилей

Следуя из разных мест отправления в разные места назначения, автомобили образуют на дороге *транспортные потоки*, движущиеся навстречу друг другу. В каждом транспортном потоке осуществляется взаимодействие автомобилей. Поэтому все проектные решения, принимаемые на основе нормативов, разработанных применительно к движению одиночного автомобиля, должны анализироваться с точки зрения удовлетворения ими требований *движения транспортных потоков*.

Загрузка дороги движением оказывает непосредственное влияние на:

- 1) степень удобства проезда по дороге;
- 2) легкость управления автомобилем;
- 3) эффективность использования автомобильного транспорта;
- 4) расход топлива.

В зависимости от степени загрузки дороги автомобилями различают несколько *характерных режимов транспортных потоков*, связывая с ними понятие об уровнях удобства движения:

- 1) *свободный поток* (уровень удобства движения **A**, рис. 4.1а) – одиночные автомобили, едущие по дороге на таком расстоянии друг за другом, что они не оказывают взаимного влияния на условия движения (более 100 м);
- 2) *частично связанный поток* (уровень удобства движения **B**, рис. 4.1б) – движение происходит в виде групп, состоящих из нескольких автомобилей, которые отличаются по динамическим качествам и следуют на близком расстоянии друг за другом (50-100 м). Обычно это вызывается тем, что передний автомобиль, движущийся более медленно, задерживает задние. Водители их вынуждены ехать медленнее, чем хотели бы, ожидая удобного момента для совершения обгона с выездом на соседнюю полосу, после чего получают возможность продолжать движение с режимом одиночного автомобиля, пока не нагонят следующую группу. Средние скорости потока снижаются, управление автомобилем осложняется;
- 3) *связанный поток* (уровень удобства движения **B**, рис. 4.1в) – движение происходит в виде больших групп автомобилей (20-50 м). Все автомобили оказывают взаимное влияние и сразу после обгона одиночного автомобиля или группы скорость автомобиля начинает вновь определяться движением едущего перед ним автомобиля. Обгоны осуществляются с тем большей трудностью и риском, чем выше интенсивность движения. Комфортабельность поездок существенно ухудшается. От водителей требуется повышенная внимательность;
- 4) *плотный, или насыщенный, поток* (уровень удобства движения **Г**, рис. 4.1г) – автомобили следуют друг за другом (менее 20 м). Обгоны становятся практически невозможными. Скорость движения резко снижается. В местах ухудшения дорожных условий возможно возникновение заторов.

Поскольку условия движения автомобилей для каждого из указанных режимов различны, они описываются различными *закономерностями теории транспортных потоков*. При этом в связи с колебаниями интенсивности движения в разные дни и часы суток на одном и том же участке дороги режимы движения изменяются.

Движение по дороге потока автомобилей представляет собой своеобразный неустановившийся процесс, в котором взаимное расположение и скорости автомобилей все время меняются случайным образом. Поэтому режим движения потока может быть охарактеризован только *средними статистическими показателями*.

Измерения на каком-либо участке дороги скоростей движения автомобилей показывают, что они меняются в сравнительно широком интервале, но для основной массы автомобилей располагаются вблизи некоторого *среднего значения*. Чем плотнее транспортный поток, тем меньше в нем различие в скоростях отдельных автомобилей. При интенсивности движения, соответствующей *частично связанному транспортному потоку*, кривые распределения числа автомобилей по скорости движения (рис. 4.2а) имеют колоколообразное очертание, характерное для нормальной кривой распределения.

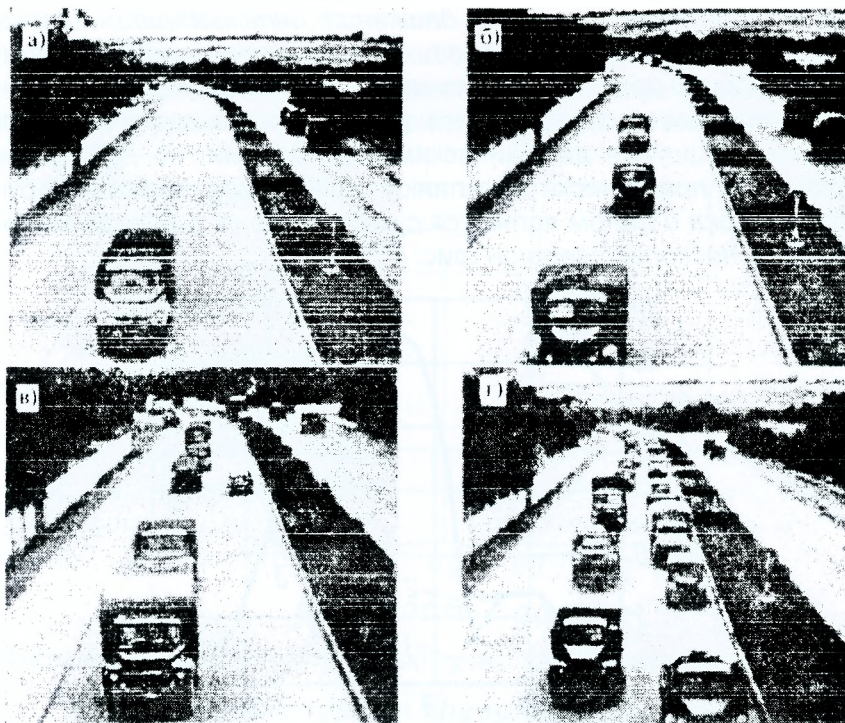


Рис. 4.1. Движение по дороге при разной насыщенности транспортного потока

Скорости и режимы движения транспортных потоков характеризуют также *кумулятивными кривыми*, показывающими, какой процент из общего количества автомобилей движется со скоростями, меньшими заданной (рис. 4.2б):

- 1) *средняя часть кривой* соответствует основной части потока;
- 2) *нижняя часть кривой* примерно до 15% обеспеченности показывает, с какой скоростью движутся наиболее медленные автомобили, вызывающие основную потребность в обгонах;
- 3) *обеспеченность 50%* выражает среднюю скорость транспортного потока. Ее принимают за основную характеристику режима движения транспортного потока;
- 4) *изгиб верхней части кривой*, примерно от 85%-ной обеспеченности, выделяет наиболее быструю группу автомобилей, в число которой входят и автомобили, нарушающие требования безопасности движения.

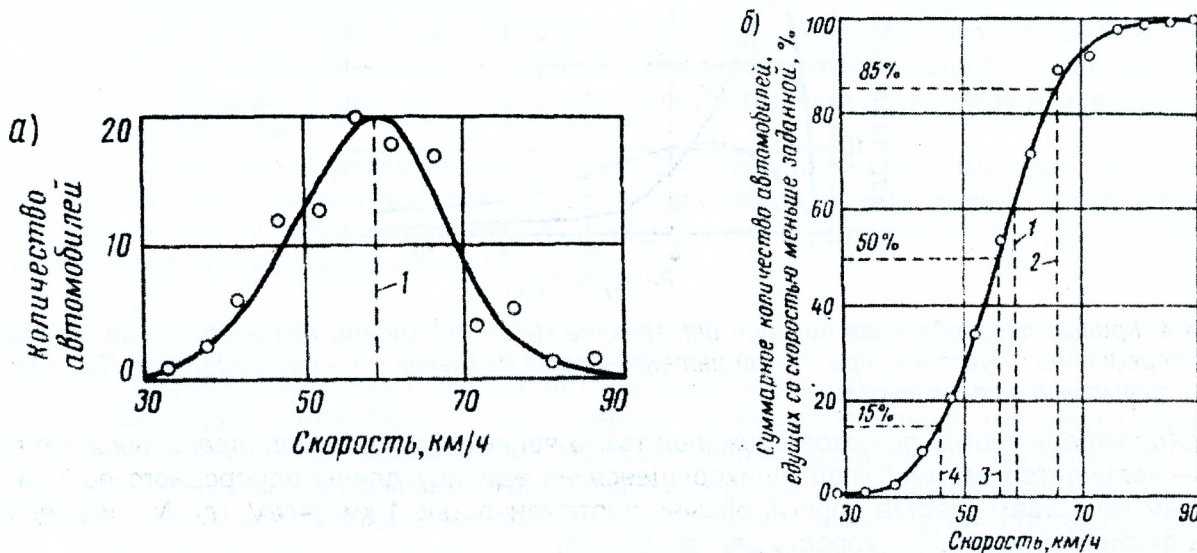


Рис. 4.2. Закономерности распределения движения между автомобилями в транспортном потоке: а – кривая распределения скоростей для однородного транспортного потока; б – кумулятивная кривая; 1 – наиболее характерная (модальная) скорость; 2 – скорость 85%-ной обеспеченности; 3 – средняя скорость; 4 – скорость 15%-ной обеспеченности

Поэтому за наибольшую скорость движения автомобилей, для которой должна быть обеспечена безопасность, принимают обычно скорость 85%-ной обеспеченности, которая является основной при разработке мер по организации движения.

Если транспортный поток складывается из нескольких групп автомобилей, которые обладают резко отличающимися динамическими качествами, но при сравнительно малой интенсивности движения практически не влияют на условия движения друг друга, кривые распределения для потока в целом являются суммой кривых для отдельных составляющих его групп и могут иметь несколько вершин (рис. 4.3).

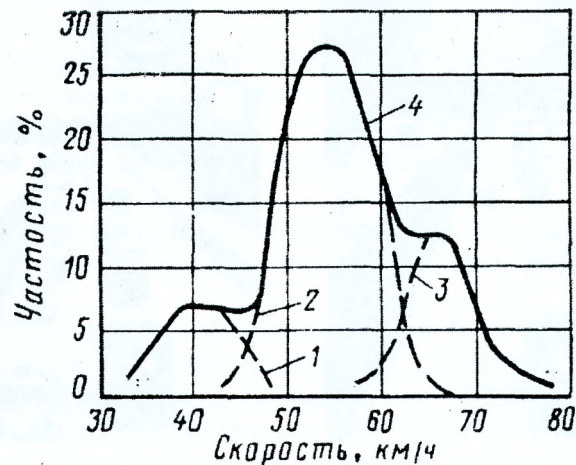


Рис. 4.3. Кривая распределения скоростей для потока разнотипных автомобилей: 1 — кривая распределения скоростей для медленно движущихся автомобилей и автопоездов; 2 — то же для основной массы грузовых автомобилей; 3 — то же для легковых автомобилей; 4 — суммарная кривая распределения для транспортного потока

Для проектирования пересечений и примыканий дорог, а также разработки мероприятий по организации движения имеет значение интервал во времени между проходами следующих друг за другом автомобилей. При малых интенсивностях (до 200 авт/ч по одной полосе) распределение интервалов по времени близко к распределению Пуассона, при высоких (до 650 авт/ч) — к распределению Пирсона III типа (рис. 4.4).

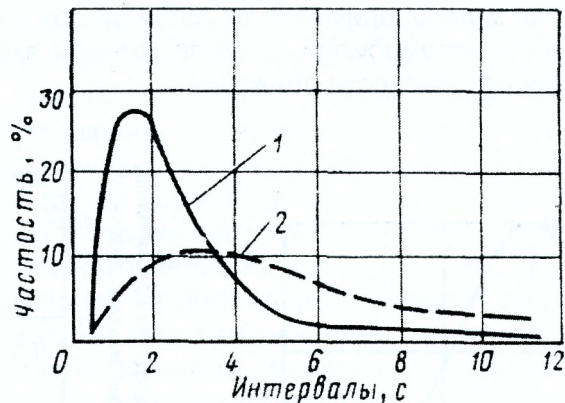


Рис. 4.4. Кривые распределения величин интервалов между проходами автомобилей во времени: 1 — распределение Пуассона (при низкой интенсивности движения); 2 — распределение Пирсона III типа при высокой интенсивности

Характеристикой потоков движения также является плотность транспортного потока — количество автомобилей, приходящееся на единицу длины однородного по транспортным качествам участка дороги, обычно протяженностью 1 км $q=N/V$, где N — интенсивность движения, авт/ч; V — скорость движения, км/ч.

Характерно, что одной интенсивности движения, кроме точки максимума, соответствуют два значения плотности транспортного потока. В одном случае он состоит из быстрых автомобилей, едущих с большими дистанциями между ними, в другом — из более медленных автомобилей, следующих на меньших расстояниях друг от друга.

Максимум кривой зависимости плотности транспортного потока от его интенсивности (рис. 4.5) соответствует наибольшему количеству автомобилей, которое может пропустить данный участок дороги. Поскольку условия движения по длине дороги меняются, плотность транспортных потоков на разных участках при постоянной интенсивности движения различна.

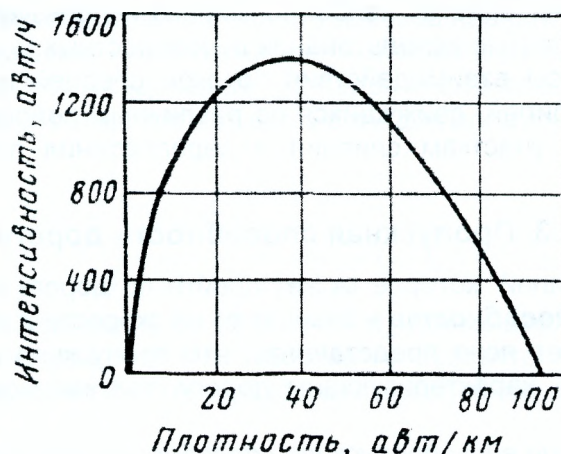


Рис. 4.5. График зависимости между плотностью транспортного потока и его интенсивностью

4.2. Основные теории транспортных потоков

Сложность процессов, протекающих в транспортном потоке, и влияние на скорость каждого автомобиля большого числа факторов не позволяют точно описать режимы движения потока математическими зависимостями. Поэтому высказанные в разное время многочисленные гипотезы теории движения транспортных потоков исходят из рассмотрения упрощенных схем (моделей). Их можно разделить на две основные группы:

1) теории, основанные на динамических моделях потоков автомобилей. Они исследуют расстояния между автомобилями при различных скоростях, следующими друг за другом без обгона по одной полосе проезжей части и распространяют установленные закономерности на весь транспортный поток. Эта схема лучше всего соответствует высоким интенсивностям движения, когда обгоны практически невозможны или сопряжены с большим риском;

2) теории, основанные на вероятностных моделях. Они анализируют движение двух встречных потоков автомобилей в целом, учитывая возможность обгонов с заездом на полосу встречного движения в моменты, когда во встречном потоке имеется достаточное для этого расстояние между автомобилями.

При обосновании требований к дорогам пока еще наибольшее распространение имеет простейшая динамическая модель, которая предполагает, что движение всех автомобилей происходит с равными скоростями и на одинаковом расстоянии друг от друга, зависящем от длины тормозного пути.

Более совершенна динамическая теория «следования за лидером». Она предполагает, что в пределах транспортного потока расстояния между автомобилями не являются постоянными. В каждой паре автомобилей задний движется с ускорением, пропорциональным разности скоростей этих автомобилей:

$$a_3 = \frac{dV_3}{dt} = \frac{l}{t} \cdot (V_n - V_3), \quad (4.1)$$

где V_n , V_3 – скорости переднего и заднего автомобилей, м/с; t – время реакции водителя, с.

Так как задний автомобиль в свою очередь является передним для следующего за ним, его ускорение или притормаживание отражается на следующем автомобиле, и в транспортном потоке все время возникают своеобразные волны сжатия и разрежения.

Возможность проведения аналогии между движением транспортного потока и течением по руслу вязкой жидкости привела к появлению «гидродинамической модели», позволяющей исследовать скорость сжатия и растягивания транспортных потоков при возникновении и последующем удалении препятствий на пути потока автомобилей, движущихся с постоянной скоростью.

В дальнейшем должны широкое распространение получить *вероятностные модели*, учитывающие возможность обгона, поскольку они точнее учитывают реальные условия движения на дороге. Вероятностные модели рассматривают характеристики режима движения каждого автомобиля (скорость, выдерживаемый интервал и выходы на обгон) как случайные события, возникновение каждого из которых в малой степени связано с предшествующими.

Для оценки этих характеристик наиболее широко используется теория массового обслуживания. Основной областью использования вероятностных моделей являются задачи, в которых решаются вопросы взаимодействия потоков средней интенсивности, когда еще возможны обгоны автомобилей, движущихся по различным полосам, например, по пересечениям в одном уровне, участкам слияния и переплетения потоков, а также технико-экономические задачи.

4.3. Пропускная способность дороги

Количество автомобилей, которое может пройти по дороге за определенный отрезок времени, – **пропускная способность** – зависит от их скорости и степени организованности движения. Поэтому следует ясно представлять, что пропускная способность не является однозначным параметром, характеризующим дорогу, так как может меняться в широких пределах.

Различают следующие виды пропускной способности как характеристики дороги:

1) *максимальную теоретическую пропускную способность*, определяемую расчетом по формулам динамической задачи теории движения транспортных потоков для идеализированного колонного движения однотипных автомобилей в благоприятных дорожных условиях (прямой горизонтальный участок с сухим шероховатым покрытием);

2) *практическую типичную пропускную способность* – наибольшее число автомобилей, которое может быть пропущено участком дороги при фактически складывающихся на ней режимах движения транспортных потоков в благоприятных погодных условиях. В СНиП пропускная способность приводится для средних дорожных условий применительно к смешанному транспортному потоку в различных условиях рельефа и выражается числом автомобилей, приведенным к легковым.

Для определения *максимальной пропускной способности* воспользуемся упрощенной динамической задачей теории транспортных потоков. Рассмотрим пропускную способность полосы движения, по которой следует с соблюдением постоянных расстояний между однотипными автомобилями транспортный поток. Определим минимальное безопасное расстояние между двумя автомобилями в потоке.

1) После того как водитель первого автомобиля по какой-либо причине начинает торможение, задний автомобиль за время реакции водителя, равное 1 с, проходит путь (в м) $l_1 = V/3,6$ (где V – скорость автомобиля, км/ч).

2) Вследствие возможного различия в состоянии тормозов переднего и заднего автомобилей тормозной путь первого может оказаться меньшим и тогда задний автомобиль дополнительно к l_1 приблизится к переднему на расстояние

$$l_2 = S_3 - S_n = \frac{V^2(K_3 - K_n)}{254(\varphi \pm i + f)}, \quad (4.1)$$

где S_3, S_n – тормозные пути заднего и переднего автомобилей; K_3, K_n – коэффициенты эксплуатационного состояния тормозов заднего и переднего автомобилей; V – скорость автомобиля, км/ч.

3) Безопасное расстояние между автомобилями

$$S = l_1 + l_2 + l_3 = \frac{V}{3,6} + \frac{V^2(K_3 - K_n)}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3, \quad (4.2)$$

где l_3 – запас расстояния между остановившимися автомобилями.

4) Длина участка, приходящегося на один автомобиль на дороге $L = S + l_4$ (где l_4 – длина автомобиля).

5) Количество автомобилей, прошедших через рассматриваемое сечение дороги в одном направлении за час (в авт/ч), т. е. пропускная способность полосы движения при скорости V (в км/ч)

$$N = \frac{1000 \cdot V}{L} = \frac{1000 \cdot V}{\frac{V}{3,6} + \frac{V^2(K_s - K_n)}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3 + l_4} \quad (4.3)$$

В целях лучшего учета режимов движения различные авторы предлагают те или иные **допущения** о режиме торможения и состоянии тормозов переднего и заднего автомобилей.

Наиболее распространено предположение о мгновенной остановке переднего автомобиля ($K_n=0$), что можно себе представить как падение с грузового автомобиля какого-либо предмета, наезд на который представляет опасность для следующего за ним автомобиля.

В этом случае

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\frac{V}{3,6} + \frac{V^2 \cdot K_s}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3 + l_4} \quad (4.4)$$

Математическое исследование уравнения (4.4) показывает, что оно имеет максимум пропускной способности в пределах 1100-1600 авт/ч, соответствующий скорости движения 20-40 км/ч. При дальнейшем возрастании скорости пропускная способность медленно снижается (рис. 4.6).

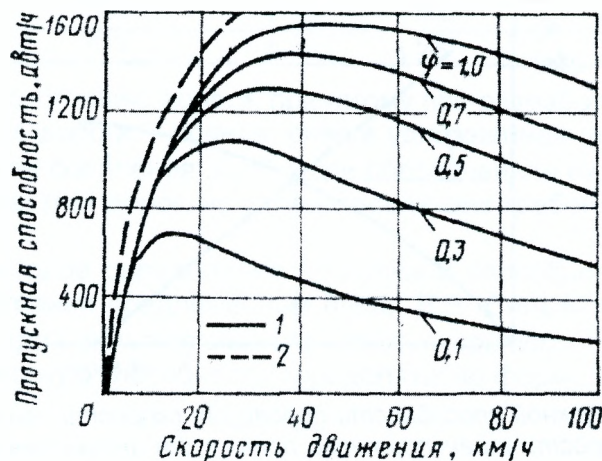


Рис. 4.6. Теоретическая пропускная способность полосы движения при разных значениях коэффициента сцепления: 1 — по уравнению (4.4); 2 — по уравнению (4.5)

Второе допущение исходит из предпосылки об одинаковом состоянии и режиме торможения переднего и заднего автомобилей ($K_s = K_n$). В этом случае

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\frac{V}{3,6} + l_3 + l_4} \quad (4.5)$$

Согласно уравнению (4.5) пропускная способность дорог возрастает с увеличением скорости и не зависит от коэффициента сцепления. Это предположение может осуществиться только в будущем при введении автоматического управления движением.

Уравнения (4.4) и (4.5), исходящие из схемы упорядоченного движения по одной полосе проезжей части, не отражают реальных условий движения по дороге разнотипных автомобилей с разными скоростями и обгонами, создающими помехи для движения во встречном направлении. С увеличением интенсивности движения взаимные помехи автомобилей возрастают, и средние скорости потока снижаются (рис. 4.7), подчиняясь для дорог с двумя полосами движения при смешанном составе движения эмпирической зависимости

$$V = V_0 - \alpha \cdot N, \quad (4.6)$$

где V_0 — скорость движения одиночного автомобиля при отсутствии помех, км/ч, которая зависит от дорожных и погодных условий; N — суммарная интенсивность движения в обоих направлениях, авт/ч; α — коэффициент снижения скорости, который зависит от состава движения ($\alpha=0,016$ при 20% легковых автомобилей в составе транспортного потока, 0,012 — при 50% и 0,008 — при 80% легковых автомобилей).

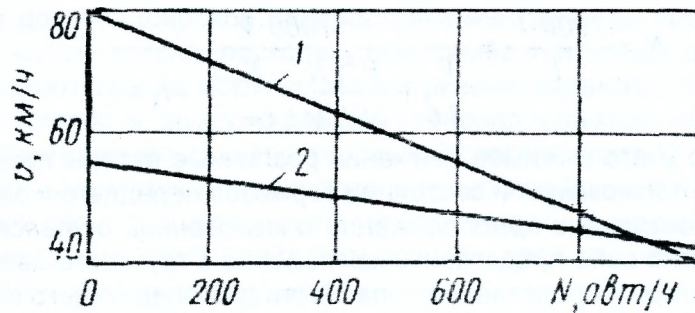


Рис. 4.7. Зависимость средней скорости движения по дороге от интенсивности движения: 1 – только легковые автомобили; 2 – типичный смешанный транспортный поток

Это накладывает ограничение на использование уравнения (4.4), поскольку средняя скорость потока автомобилей, которой соответствует определяемая пропускная способность, должна одновременно удовлетворять и уравнению (4.6). Поэтому, как следует из рис. 4.8, пропускная способность дороги с двумя полосами движения должна соответствовать точке пересечения прямой и кривой, выражаемых уравнениями (4.4) и (4.6) на графике зависимости скорости от пропускной способности.

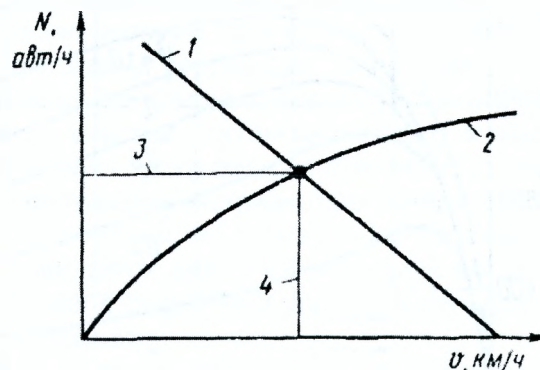


Рис. 4.8. Зависимость пропускной способности дороги от скорости движения транспортного потока: 1 – зависимость скорости транспортного потока от интенсивности; 2 – пропускная способность, рассчитанная по интервалам между автомобилями при разных скоростях движения; 3 – типичная пропускная способность полосы; 4 – скорость при типичной пропускной способности

Поскольку скорости движения по дорогам зависят от степени их технического совершенства, пропускные способности дорог разных категорий определяются точками пересечения с кривой, выражаемой уравнением (4.6), прямых, соответствующих значениям скорости V_0 движения по этим дорогам одиночных автомобилей (рис. 4.9).

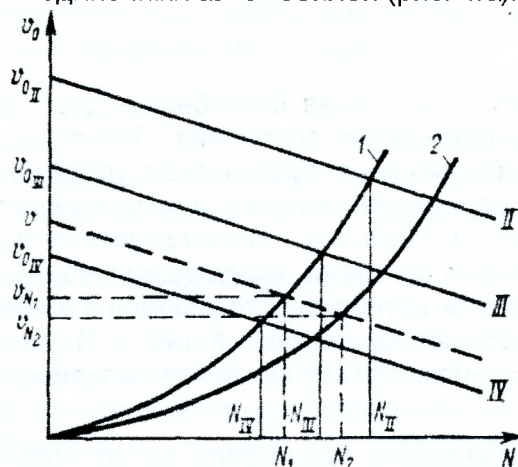


Рис. 4.9. Пропускная способность дорог разных категорий в зависимости от режимов движения: 1 – теоретическая пропускная способность при нормальных условиях движения; 2 – то же при сложных условиях движения; II – IV – скорости движения одиночных автомобилей на дорогах II –IV категорий

Если интенсивность возрастает по сравнению с пропускной способностью, найденной описанным способом, условия движения ухудшаются. Вначале сокращаются расстояния запаса между автомобилями l_3 , а затем расстояния между автомобилями становятся меньше длины тормозного пути, повышается напряженность работы водителей. В результате кривая теоретической пропускной способности как бы смещается на графике вправо в тем большей степени, чем больше превышает фактическая интенсивность движения пропускную способность, соответствующую нормальным условиям движения (см. рис. 4.9).

При разработке норм на проектирование дорог пропускную способность полосы движения оценивали, используя в уравнении (4.5) установленные путем наблюдений кривые зависимости средней скорости транспортного потока и интервалов между автомобилями от скорости. Полученные значения пропускной способности, представляющие *практическую типичную пропускную способность*, приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Средняя практическая пропускная способность одной полосы движения

Категория дороги	Средняя практическая пропускная способность одной полосы движения при рельефе, авт/ч		
	равнинном	пересеченном	горном
II	1200	1100	1000
III	1000	900	800
IV	850	800	650
V	650	550	400

Они соответствуют состоянию дороги, принятому при разработке Строительных норм и правил на автомобильные дороги – ровная, слегка увлажненная шероховатая поверхность покрытия с коэффициентом сцепления $\varphi_{np}=0,6$ при обеспеченной видимости. При ухудшении погодных условий и на участках дорог, не удовлетворяющих требованиям СНиП, пропускная способность снижается.

Из практических методов определения пропускной способности конкретных участков дорог наиболее распространен предложенный проф. В.В. Сильяновым способ с использованием эмпирических коэффициентов снижения пропускной способности β .

Практическую пропускную способность определяют по формуле

$$N = \frac{N_{max} \cdot \beta_{умог}}{\sum_{i=1}^n K_{npi} \cdot \psi_i}, \quad (4.7)$$

где N_{max} – максимальная практическая пропускная способность эталонного участка, составляет 2000 авт/ч для двухполосных дорог, 4000 авт/ч – для трехполосных, для многополосных дорог определяется как сумма пропускной способности отдельных полос. Эталонным является горизонтальный участок, прямоугольный в плане, с проезжей частью, имеющей не менее двух полос движения шириной по 3,75 м с сухим шероховатым покрытием, с расстоянием видимости не менее 800 м для транспортного потока из легковых автомобилей; n – количество типов автомобилей в составе транспортного потока; K_{npi} – коэффициент приведения автомобиля i -го типа к легковому автомобилю согласно СНиП 2.05.02-85; ψ_i – доля автомобилей i -го типа в составе транспортного потока; $\beta_{умог}$ – итоговый коэффициент снижения пропускной способности, определяемый как произведение частных коэффициентов β_i ,

$$\beta_{умог} = \prod_{i=1}^{15} \beta_i. \quad (4.8)$$

Частные коэффициенты снижения пропускной способности β_i определяются в зависимости от характеристик дорожных условий и состава транспортного потока по специальным таблицам. Например, β_1 изменяется в зависимости от ширины полосы движения от 0,85 до 1,0, а β_2 зависит от расстояния от кромки проезжей части до препятствия на обочине (0,78-1,0) и т.д.

4.4. Загрузка дорог движением и пропускная способность полосы движения

Типичная пропускная способность полосы движения характеризует максимальную интенсивность движения при частично связанном режиме транспортного потока с некоторым снижением скорости по сравнению со скоростью одиночных автомобилей.

В зависимости от интенсивности движения по дороге изменяются количество взаимных помех для автомобилей и режимы их движения. Чем меньшая интенсивность по одной полосе проезжей части предусматривается при проектировании дороги, тем большие удобства будут обеспечены для пользующихся дорогой.

Загрузку автомобилями полос движения характеризуют **коэффициентом загрузки z** , который представляет собой отношение фактической интенсивности движения N_f к практической типичной пропускной способности полосы движения. Различают четыре характерные состояния транспортного потока (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Характеристики различных уровней удобства движения

Уровень удобства движения	Состояние транспортного потока	N , авт/ч на полосе	Коэффициент загрузки z	Скорость потока по отношению к скорости одиночного автомобиля
А	Свободный	360	$< 0,20$	0,90-1,00
Б	Частично связанный	900	0,20-0,45	0,70-0,90
В	Связанный	1200	0,45-0,70	0,55-0,70
Г	Насыщенный	1600	0,70-1,00	0,40-0,55

Расчетный коэффициент загрузки дороги движением при сдаче в эксплуатацию, предусматриваемый при ее проектировании, не должен превышать 0,45-0,55 от ее практической пропускной способности с тем, чтобы к моменту окончания расчетного срока и возникновения потребности в реконструкции дороги он не превышал 0,65-0,75. Тем самым создается резерв пропускной способности на случай внеплановых интенсивных перевозок, а также сезонных и суточных пиков интенсивности движения.

СНиП 2.05.02-85 предусматривает на дорогах II-IV категорий две полосы движения. Для обгона используются полосы встречного движения. При назначении числа полос на многополосных автомобильных магистралях, а также выявлении мест устройства дополнительных полос движения (на подъемах, у пересечений и др.) определяют общее число полос движения

$$n = \frac{N_{np} \cdot \varepsilon}{z \cdot N}, \quad (4.9)$$

где N_{np} – интенсивность движения, авт/ч, приведенная к легковым автомобилям; ε – коэффициент сезонной неравномерности движения; z – коэффициент загрузки, соответствующий необходимому для данной дороги уровню удобства; N – типичная пропускная способность дороги данной категории, авт/ч.

Число полос движения на дорогах I категории следует устанавливать в зависимости от интенсивности движения и рельефа местности по табл. 4.3 (СНиП 2.05.02-85).

Таблица 4.3. Число полос движения на дорогах I категории

Рельеф местности	Интенсивность движения, прив. авт/сут	Число полос движения
Равнинный и пересеченный	14000-40000	4
	40000-80000	6
	> 80000	8
Горный	14000-34000	4
	34000-70000	6
	> 70000	8

Строительство дорог с многополосной проезжей частью обосновывается сопоставлением с вариантами сооружения дорог по отдельным направлениям.

Новые дороги с тремя полосами движения в Беларуси не строят, так как преимущественное использование третьей полосы для обгона создает повышенную опасность столкновения автомобилей. Уширение проезжей части до трех полос движения иногда выполняют в процессе капитальных ремонтов при сильно возросшей интенсивности движения как временное мероприятие, с увеличением впоследствии до четырех полос движения.

4.5. Технические условия на проектирование

Для *практического руководства* при проектировании дорог разрабатывают нормы на элементы дороги – технические условия, основанные на тяговых расчетах, исходящих из некоторых *осредненных условий* движения автомобилей по дороге. При этом учитывают перспективы развития автомобильного транспорта, определяя тем самым на ряд лет вперед (20 лет) техническую политику в области дорожного строительства.

Нормы учитывают:

- 1) динамические качества современных автомобилей;
- 2) материальные возможности страны;
- 3) опыт эксплуатации построенных дорог, показывающий, в какой степени ранее принятые решения удовлетворяют требованиям движения;
- 4) материалы исследования причин дорожно-транспортных происшествий, вызванных дорожными условиями, в частности неудачным сочетанием элементов дороги в плане и профиле.

С 1 января 1986 г. проектирование дорог ведут на основе Строительных норм и правил «Автомобильные дороги» (СНиП 2.05.02-85), утвержденных Государственным комитетом СССР по делам строительства.

Наиболее сложный и принципиальный вопрос при разработке технических нормативов на проектирование дорог – **выбор расчетной скорости**, т.к. движение с высокими скоростями требует:

- 1) минимальных продольных уклонов;
- 2) больших радиусов кривых в плане и продольном профиле;
- 3) наличия совершенного покрытия;
- 4) увеличения объемов земляных работ, особенно в сложных условиях рельефа;
- 5) резкого увеличения стоимости строительства дорог по мере повышения их категории.

Минимум суммарных расходов при каждой интенсивности соответствует определенной, наиболее эффективной расчетной скорости.

В своей *практической деятельности* инженер должен ясно представлять себе, что требования любых норм и технических условий отражают уровень наших знаний периода их составления. **Их нельзя рассматривать как непреложные законы математики или физики, отступление от которых всегда приводит к ошибкам.** Тщательно анализируя местные природные условия, закономерности движения, особенности новых типов транспортных средств, свойства местных материалов и т.д., инженер в случае необходимости обязан предложить на рассмотрение органов, утверждающих проекты дорог, обоснованные собственные решения, отличающиеся от нормативных.

5. ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ. ВИДИМОСТЬ ДОРОГИ В ПЛАНЕ

5.1. Элементы плана дороги

Строить дороги по кратчайшему направлению (по прямой, соединяющей заданные точки) препятствуют элементы рельефа земной поверхности (горы, овраги), водные преграды (болота, озера, реки), заповедники и другие препятствия. Нецелесообразно также прокладывать дороги по высокоплодородным землям, ценным для сельского хозяйства. В то же время возникает необходимость проведения дороги через заданные промежуточные пункты и места примыкания к городам, участки, удобные для пересечения рек, железных и автомобильных дорог. Как можно видеть на рис. 5.1, необходимость перейти реку на прямом участке с удобным подходом к мосту по пологим склонам оврага, желание обойти населенный пункт и избежать пересечения оврага заставили при проложении трассы отклониться от кратчайшего прямого направления.

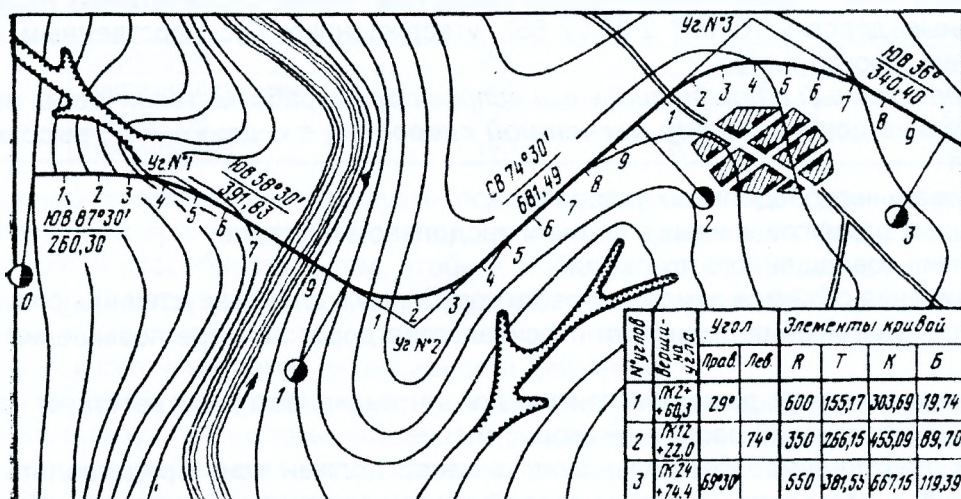


Рис. 5.1. Пример проложения трассы дороги в плане

Удлинение дороги, вызванное введением углов поворота, характеризуют коэффициентом развития, или коэффициентом удлинения, равным отношению фактической длины дороги к длине прямой, соединяющей начальный и конечный ее пункты («воздушной линии»).

Положение геометрической оси дороги на местности называется ее трассой. Поскольку трасса при обходе препятствий, на подъемах на холмы и спусках в понижения местности меняет свое направление в плане и продольном профиле, она является пространственной линией (рис. 5.2).

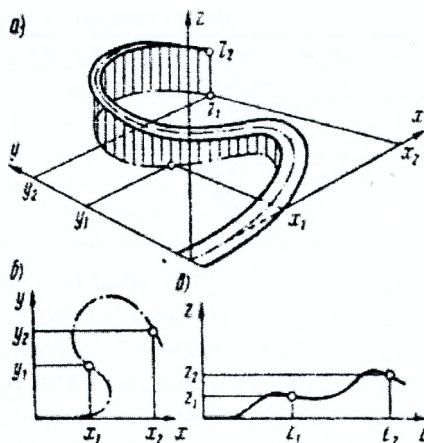


Рис. 5.2. Ось дороги как пространственная кривая: а – вид полотна дороги в аксонометрии; б – план дороги; в – продольный профиль

Графическое изображение проекции трассы на горизонтальную плоскость, выполненное в уменьшенном масштабе, называют *планом трассы*.

Намечаая положение дороги на местности, ее первоначально прокладывают в *виде ломаной линии*. До 30-х годов прошлого столетия единственной формой трассы была ломаная линия, в углы пересечения которой для удобства и безопасности движения вписывались *дуги окружности*. Такая трасса с резко изменяющимися элементами (круговые кривые и прямые) и значительной протяженностью этих элементов в условиях холмистого рельефа плохо сочетается с его плавными формами, кажется «жесткой», что приводит к увеличению объемов работ по устройству земляного полотна. Поэтому *трассы современных автомобильных дорог*, особенно высоких категорий, проектируют с минимальной протяженностью прямых вставок как *сочетание дуг окружности с радиодальными спиралями – клотоидами (клотоидная трасса)* или как кривые с непрерывно изменяющейся кривизной, аппроксимиремыми *кубическими полиномами (сплайны)*. В последнем случае участки ломаного, состоящего из прямых, хода являются опорной базой, от которой при разбивке отмеряют вычисляемые на ЭВМ ординаты криволинейной трассы. Особенности клотоидной и сплайновой трасс будут рассмотрены детально при ландшафтном проектировании.

В простейшем случае трассирования дороги прямыми и дугами окружности каждое изменение направления трассы определяется *углом поворота*, который измеряют между продолжением направления трассы и новым ее направлением. Углы поворота последовательно *нумеруют* вдоль дороги – *по ходу трассы*. Чтобы запроектированную трассу можно было точно воспроизвести на местности, ее ориентируют относительно сторон света. Для этого вычисляют *румбы* прямых участков трассы (см. рис. 5.1).

Различают следующие геометрические элементы закруглений (рис. 5.3): угол α , радиус R , кривую K , тангенс T , биссектрису B , домер D . Элементы кривой связаны между собой следующими тригонометрическими соотношениями:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; B = \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right); K = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180}; D = 2T - K; \sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (5.1)$$

Для удобства определения длин кривых и разбивки их на местности имеются *специальные таблицы*.

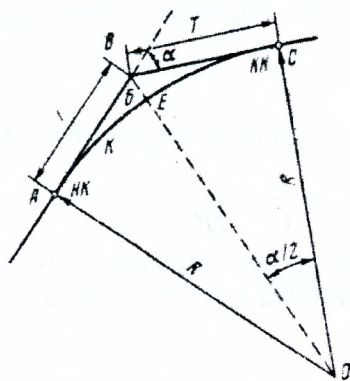


Рис. 5.3. Элементы угла поворота кругового закругления: α – угол; B – вершина угла; A – точка начала круговой кривой (НК); C – точка конца кривой (КК); B – биссектриса; R – радиус; K – кривая; T – тангенс

5.2. Особенности движения автомобиля по кривым

На автомобиль, движущийся по криволинейному участку дороги, в точке кривой, радиус кривизны которой равен R , действует *центробежная сила*

$$C = m \cdot V^2 / R, \quad (5.2)$$

где m – масса автомобиля, кг; V – его скорость, м/с.

Центробежная сила, перпендикулярная направлению движения, оказывает на автомобиль *опрокидывающее и сдвигающее воздействия*. Перераспределяя давление между правыми и левыми колесами, и вызывая явление бокового увода шин, она осложняет также условия управления автомобилем. На кривых малых радиусов увеличивается расход топлива и повышается износ шин. В ночное время проезд криволинейных участков осложняется тем, что свет фар освещает дорогу перед автомобилем на меньшее расстояние, чем на

прямых участках. Все указанные отрицательные факторы проявляются тем сильнее, чем меньше радиус кривой в плане. Поэтому безопасность, удобство и экономичность движения автомобилей с расчетной скоростью возможны только при назначении достаточно больших радиусов кривых. В общем виде выражение для определения радиуса круговых кривых в плане может быть получено из следующих соображений.

При движении по кривой на автомобиль действуют две силы, приложенные к его центру тяжести (рис. 5.4): центробежная сила C , направленная во внешнюю сторону закругления и вес автомобиля G . Проектируя обе силы на направление поперечного уклона проезжей части автомобильной дороги, получаем

$$Y = \frac{m \cdot V^2}{R} \cdot \cos \alpha \pm mgi, \quad (5.3)$$

где Y – результирующая сила, стремящаяся сдвинуть автомобиль с дороги, называемая поперечной силой.

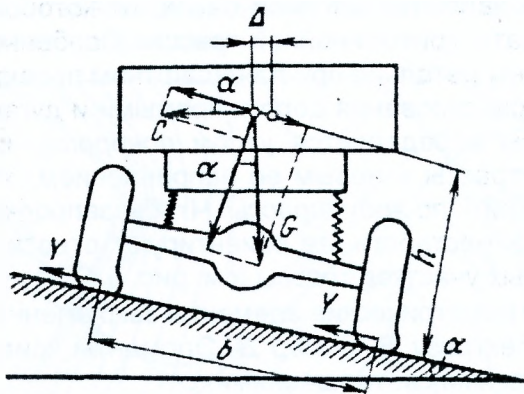


Рис. 5.4. Силы, действующие на автомобиль при движении по кривой в плане

В зависимости от направления поперечного уклона составляющая веса автомобиля, равная mgi , может иметь знак «+» или «-».

Поскольку угол α мал ($\cos \alpha \approx 1$), его влиянием можно пренебречь. Тогда

$$Y = \frac{m \cdot V^2}{R} \pm mgi. \quad (5.4)$$

Поделив все члены предыдущего уравнения на вес автомобиля, получаем

$$\frac{Y}{G} = \frac{V^2}{gR} \pm i. \quad (5.5)$$

Отношение Y/G , обозначаемое μ , принято называть коэффициентом поперечной силы. Задаваясь допустимыми значениями коэффициента поперечной силы, можно определить радиус круговых кривых (в м)

$$R = \frac{V^2}{g \cdot (\mu \pm i)}. \quad (5.6)$$

Для практического использования этого выражения необходимо нормировать допустимое значение коэффициента поперечной силы.

5.3. Коэффициент поперечной силы

Действующая на автомобиль при проезде по кривой малого радиуса поперечная сила оказывает на него ряд воздействий – стремится сместить его с дороги или опрокинуть, затрудняет управление, снижает комфортабельность поездки, а также, создавая дополнительное сопротивление движению, увеличивает расход топлива и износ шин. С учетом этих воздействий и определяют предельные допустимые значения коэффициента поперечной силы. **Устойчивость против заноса** является важнейшим условием безопасного движения автомобиля по кривой. Смещению автомобиля вбок под действием центробежной силы и поперечного уклона покрытия препятствует сцепление шин с покрытием. Приложенные к ведущему колесу автомобиля поперечная сила Y и тяговое или тормозное усилие P соз-

дают в плоскости контакта шин с покрытием *суммарное сдвигающее усилие* Q , направленное под углом к траектории движения (рис. 5.5).

Для устойчивости автомобиля необходимо, чтобы было соблюдено условие

$$\sqrt{Y^2 + P^2} = Q \leq G_k \cdot \varphi_{пр}, \quad (5.7)$$

где G_k – нагрузка от ведущего или заторможенного колеса на покрытие, Н; $\varphi_{пр}$ – коэффициент продольного сцепления шины с покрытием.

Под воздействием центробежной силы нагрузка между колесами перераспределяется. При большом значении поперечной силы тяговое усилие на менее нагруженном внутреннем колесе может превысить силу сцепления и вызвать *буксование колеса и занос автомобиля*. Критическим для устойчивости автомобиля является случай интенсивного торможения с блокировкой колеса на кривой, когда работа сил трения шины и дороги почти полностью используется на погашение кинетической энергии поступательного движения автомобиля и лишь малая ее доля остается на сопротивление смещению автомобиля вбок.

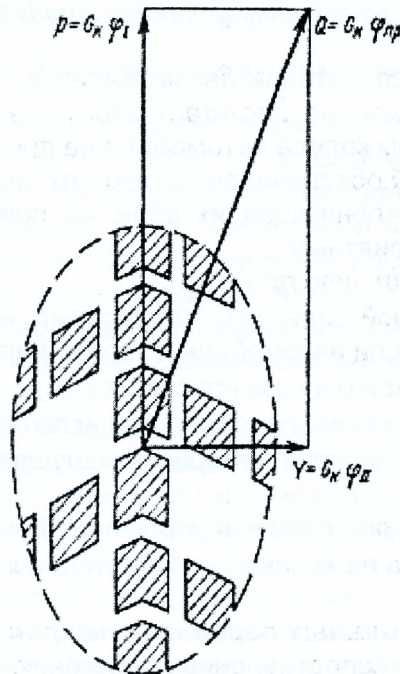


Рис. 5.5. Соотношение между поперечными и продольными усилиями, действующими на колесо автомобиля

Составляющие коэффициента продольного сцепления $\varphi_{пр}$ в продольном φ_l и поперечном φ_{II} направлениях связаны зависимостью

$$\varphi_{II} = \sqrt{\varphi_{пр}^2 - \varphi_l^2}. \quad (5.8)$$

Для устойчивости автомобиля на кривой против заноса необходимо, чтобы соблюдалось условие $\varphi_{II}G > Y$. Отсюда вытекает требование, чтобы $\varphi_{II} > Y/G = \mu$, т.е. коэффициент поперечной силы μ не должен превышать остающейся части общего коэффициента сцепления φ_{II} , сопротивляющейся смещению шины вбок. Чем большая часть φ_l общего коэффициента сцепления используется для преодоления продольного уклона при торможении автомобиля, тем меньшая часть его поперечной составляющей φ_{II} остается для сопротивления сдвигу автомобиля на кривой.

Практически считается, что используемая часть коэффициента продольного сцепления в продольном направлении φ_l должна составлять не менее 0,7-0,8 от его полного значения $\varphi_{пр}$. В этом случае соответственно коэффициент φ_{II} равен 0,7 $\varphi_{пр}$ или 0,6 $\varphi_{пр}$.

Для устойчивости автомобиля при движении по кривой без торможения необходимо, чтобы коэффициент поперечной силы был меньше коэффициента поперечного сцепления $\mu < \varphi_{пол}$.

Устойчивость автомобиля против опрокидывания обеспечивается превышением удерживающего момента над опрокидывающим (см. рис. 5.4).

Составляя уравнение моментов сил, действующих на автомобиль, относительно оси, проходящей через центры площадей контактов внешних колес, получаем

$$Y \cdot h = mg \cdot (b/2 - \Delta), \quad (5.9)$$

откуда

$$\mu = \frac{Y}{mg} = \frac{1}{2h} \cdot (b - 2\Delta). \quad (5.10)$$

В этом выражении учитывается, что из-за деформации рессор и эластичности шин центр тяжести автомобиля смещается в поперечном направлении на некоторую величину Δ . На основе опытов боковое смещение Δ можно принять равным примерно $0,2b$. Отношение b/h для современных легковых автомобилей колеблется от 1,8 до 2,5, для грузовых – от 2 до 3 и для автобусов – от 1,7 до 2,2, а высоты центра тяжести над поверхностью дороги 0,35-0,6 м для легковых автомобилей, 0,65-1,0 м для грузовых и 0,7-1,4 м для автобусов. Принимая наиболее невыгодные значения h и b/h , получаем, что для устойчивости автомобиля против опрокидывания необходимо, чтобы коэффициент поперечной силы не превышал 0,6.

В нормальных условиях эксплуатации автомобилей и при обычных скоростях движения коэффициент поперечной силы не достигает этого значения. Случаи опрокидывания обычно бывают связаны с наездом колеса автомобиля на препятствие при заносе.

Удобство проезда кривой обеспечивается тем, что действующая на водителя и пассажиров центробежная сила, наклоняющая их вбок, не превысит значения, при котором проезд по кривой становится неприятным.

Данные опытов показывают, что при:

- коэффициенте поперечной силы $\mu=0,10$ пассажир, не глядящий на дорогу, не может различить, движется ли автомобиль по кривой или на прямом участке дороги;
- $\mu=0,15$ движение по кривой ощущается слабо;
- $\mu=0,20$ ясно ощущая движение, пассажир уже испытывает легкое неудобство;
- $\mu=0,30$ въезд с прямого участка на кривую ощущается как толчок, наклоняющий пассажира вбок.

Потому считают, что для обеспечения удобства проезда по дороге для пассажиров коэффициент поперечной силы μ на кривых не должен превышать 0,15, а в сложных условиях – 0,20.

Экономичность автомобильных перевозок на криволинейных участках связана с возникающим дополнительным сопротивлением движению из-за явления бокового увода шин (рис. 5.6), при котором

- поперечная сила вызывает боковую деформацию шин;
- форма площадки контакта шины с покрытием изменяется, а ее продольная ось образует некоторый угол по отношению к направлению движения (явление бокового увода);
- колесо, оставаясь в той же вертикальной плоскости, начинает смещаться по этому направлению (рис. 5.6б);
- водитель должен компенсировать боковой увод соответствующим поворотом передних колес под углом к движению.

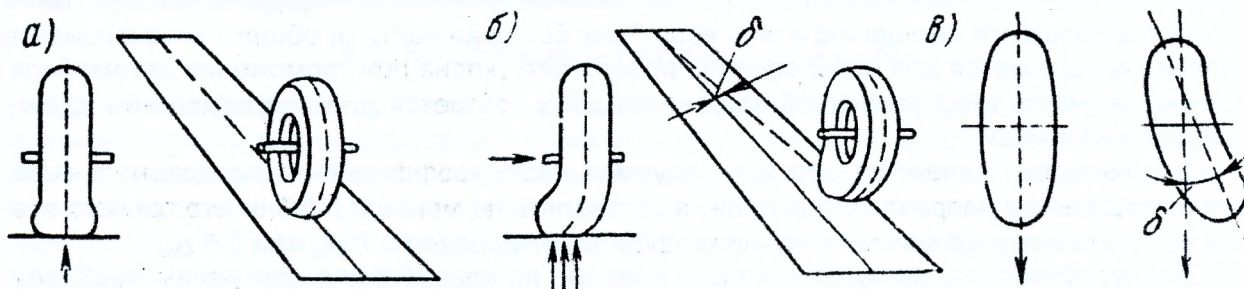


Рис. 5.6. Боковой увод колеса: а – движение при отсутствии боковой силы; б – движение при наличии боковой силы; в – форма площадок контакта шины с покрытием при отсутствии и при наличии боковой силы; δ – угол бокового увода

Экспериментальные исследования показали, что при углах бокового увода, меньших 3-4° для шин легковых автомобилей и 4-5° для шин грузовых автомобилей, значение угла пропорционально боковой силе, приложенной перпендикулярно к плоскости качения колеса:

$$\delta = Y / K_{y\delta}, \quad (5.11)$$

где Y – боковая сила, Н; $K_{y\delta}$ – коэффициент сопротивления уводу, зависящий от упругости пневматической шины в поперечном направлении, для шин легковых автомобилей равен 15-40 Н/рад, для шин грузовых автомобилей – 30-100 Н/рад.

С увеличением угла бокового увода увеличивается затрата мощности двигателя на качение колеса (до 15%) и резко повышается износ шин (до 5 раз). Этим условиям для современных легковых автомобилей соответствует коэффициент поперечной силы, примерно равный 0,1.

Таким образом, чтобы криволинейные участки дорог не являлись причиной существенного повышения себестоимости автомобильных перевозок, необходимо проектировать кривые с радиусами, обеспечивающими при движении автомобилей с расчетной скоростью значения коэффициента поперечной силы, не превышающие 0,1.

5.4. Назначение радиусов кривых в плане

Для безопасности, удобства и экономичности движения с расчетными скоростями следует назначать такие радиусы кривых в плане на автомобильных дорогах, при которых по возможности обеспечивается меньшее значение коэффициента поперечной силы μ .

В трудных условиях рельефа или в густонаселенной местности, когда увеличение радиуса ведет к резкому возрастанию объема земляных работ или к необходимости сноса ценных строений, приходится допускать меньшие значения радиусов, безусловно, обеспечивающие устойчивость автомобиля против заноса при движении с расчетной скоростью при благоприятном состоянии дороги, но вызывающие снижение удобства и экономичности пользования дорогой на участке кривой.

Поскольку для обеспечения безопасности движения необходимо, чтобы при проезде автомобиля по кривой имелся определенный запас коэффициента сцепления для экстренного торможения, для погашения поперечной силы можно использовать только часть полного сцепления шины с покрытием. Поэтому расчетное значение коэффициента поперечной силы, назначаемое исходя из комплексного учета требований устойчивости автомобиля, удобства управления, комфортабельности поездок и экономичности перевозок, всегда составляет лишь некоторую часть коэффициента продольного сцепления.

В табл. 5.1 приведены допустимые максимальные значения коэффициента поперечной силы для различных требований устойчивости и использования автомобиля.

Таблица 5.1. Предельные допустимые значения коэффициента поперечной силы

Показатели	Предельные допустимые значения μ на покрытии		
	сухом $\varphi=0,6$	мокроем $\varphi=0,4$	покрытом льдом $\varphi=0,2$
Устойчивость против опрокидывания	0,60	0,60	0,60
Устойчивость против заноса	0,36	0,24	0,12
Обеспечение удобства поездки для пассажира	0,15	0,15	0,15
Экономичность эксплуатации автомобиля	0,10	0,10	0,10

Расчетным случаем при назначении радиусов кривых в плане является движение по увлажненному незагрязненному покрытию с коэффициентом продольного сцепления $\varphi_{пр}=0,6$. При относительно благоприятных условиях местности для расчетов наименьшего радиуса целесообразно ориентироваться на значения $\mu=0,05-0,10$, принимая его тем меньшим, чем выше расчетные скорости движения. В СНиП 2.05.02-85 при определении минимальных радиусов принято $\mu=0,12$ для расчетных скоростей 150 и 120 км/ч и $\mu=0,18$ для скорости 60 км/ч.

Исходя из этих значений коэффициентов, нормы на проектирование автомобильных дорог устанавливают значения допустимых в трудных условиях радиусов кривых в плане в зависимости от скорости движения по дороге (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Минимальные радиусы кривых в плане

Расчетная скорость движения, км/ч	Категория дорог	Наименьшие радиусы на трудных участках дорог, м	
		в равнинной местности	горной
150	I	1200	1000
120	II	800	600
100	III	600	400
80	IV	300	250
60	V	150	125
50	—	100	100
40	—	60	60
30	—	30	30

Если дорогу строят в открытой равнинной местности, увеличение радиуса сокращает ее длину и уменьшает строительные и транспортные издержки, Поэтому в благоприятных для проложения трассы условиях *рекомендуется на дорогах всех категорий назначать радиусы кривых не менее 3000 м, условия движения по которым практически не отличаются от условий на прямых участках.*

На кривых малых радиусов часто не бывает обеспечена безопасность движения с расчетной скоростью в **ночное время**, поскольку участок дороги, освещенный фарами, оказывается меньше расчетного расстояния видимости. Важность удовлетворения требований безопасности в ночное время подчеркивается тем обстоятельством, что при интенсивности движения ночью примерно в 10 раз меньшей, чем днем, половина дорожно-транспортных происшествий приходится на этот период суток.

Оптические устройства фар концентрируют лучи света в виде эллиптической фигуры, которая может быть охарактеризована углом раствора пучка света фар α , стягивающим в пределах земляного полотна изолинию минимальной допустимой освещенности поверхности дороги, обычно принимаемую равной 2 лк (рис. 5.7).

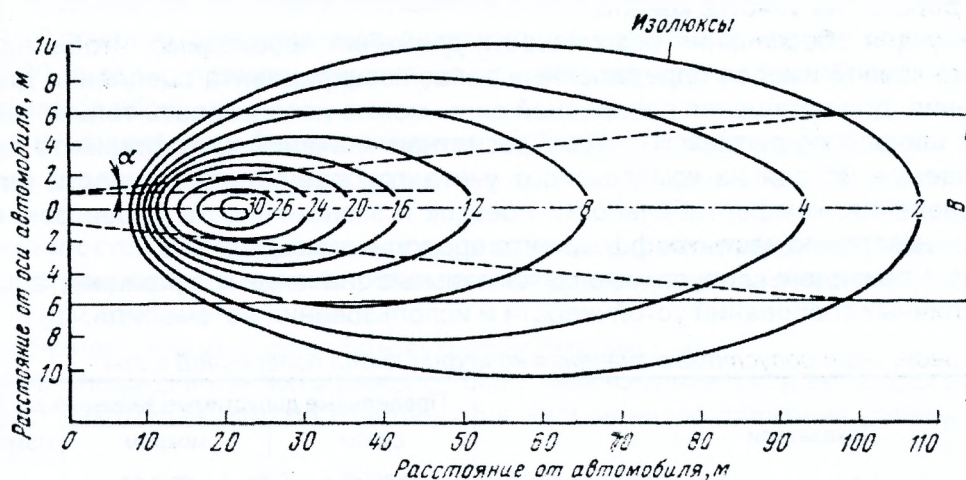


Рис. 5.7. Освещенность дороги светом фар: В – ширина земляного полотна

Современные фары дальнего света в среднем обеспечивают видимость на расстоянии 175 м (максимум 250 м), что меньше расчетных расстояний видимости. Радиус R , при котором видимость дороги на кривой будет соответствовать расчетному значению видимости S , определяется по формуле

$$R = 30 \cdot S / \alpha, \quad (5.12)$$

где α – угол раствора пучка света (для практических расчетов принимается равным 2°).

Радиус кривых, при которых свет фар освещает проезжую часть на расстояние видимости 100-300 м, составляет 1500-4500 м.

5.5. Переходные кривые

В момент въезда автомобиля с прямого участка на кривую в плане условия движения изменяются. На автомобиль начинает действовать центробежная сила. Теоретически она прилагается мгновенно, практически же – в пределах короткого участка, на котором водитель поворачивает рулевое колесо. Как показали наблюдения, при въезде на кривые с ра-

диусами менее 600 м водители обычно снижают скорость движения. Чтобы изменение условий движения не происходило слишком быстро, между прямым участком и кривой малого радиуса вводят **переходную кривую**, в пределах которой кривизна оси дороги плавно изменяется от нуля на прямом участке до $1/R$ в начальной точке круговой кривой.

На автомобильных дорогах I – III категорий автомобили проезжают кривые без снижения скорости. В этих случаях применяют переходные кривые простого очертания. **Уравнение $A^2=RL$ представляет собой уравнение клотоиды** (радиоидальной спирали, радиоиды, спирали Корню) – основной переходной кривой, применяемой на современных автомобильных дорогах.

Минимальная длина переходных кривых устанавливается из условия обеспечения нормируемого значения нарастающего центростремительного ускорения J , при котором еще обеспечивается комфортабельное и безопасное движение по дороге

$$L = \frac{V^3}{47RJ}, \quad (5.13)$$

где V – расчетная скорость, км/ч; R – радиус закругления, м.

В различных странах значение J принимают в пределах от 0,3 до 1,0 м/с³. Нормы на проектирование дорог Беларуси исходят из значения $J=0,8$ м/с³, что близко соответствует фактическим режимам движения на дорогах.

Переходные кривые устраивают на дорогах всех категорий на кривых с радиусами менее 2000 м:

радиусы круговых кривых, м	30	60	100	200	300	500	600-1000	1000-2000;
длина переходных кривых, м	30	40	50	70	90	110	120	100.

Приведенные длины переходных кривых следует рассматривать как минимально допустимые. *Нормативную длину переходных кривых целесообразно увеличивать в 1,5-2,0 раза*, поскольку это придает трассе дороги большую зрительную плавность, способствующую проезду кривой без снижения скорости. При проектировании автомобильных дорог, предназначенных для движения с высокими скоростями, переходные кривые превратились из вспомогательного элемента кривых малых радиусов в самостоятельный элемент трассы дороги в плане и профиле, равноправный с прямыми и кривыми.

Для разбивки переходных кривых иногда применяют уравнения других кривых, также удовлетворяющие требованиям закономерного изменения кривизны. Наибольшее распространение после клотоиды имеют *кубическая парабола и лемниската Бернулли*.

В ряде западноевропейских стран получили распространение переходные кривые по *биквадратной параболе*, которые обеспечивают в начале и конце кривой замедленное изменение поперечного ускорения. В отечественной же практике наибольшее распространение получила разбивка переходных кривых *по клотоиде* (рис. 5.8а), исходные предпосылки о режиме движения автомобилей по которой наиболее логичны.

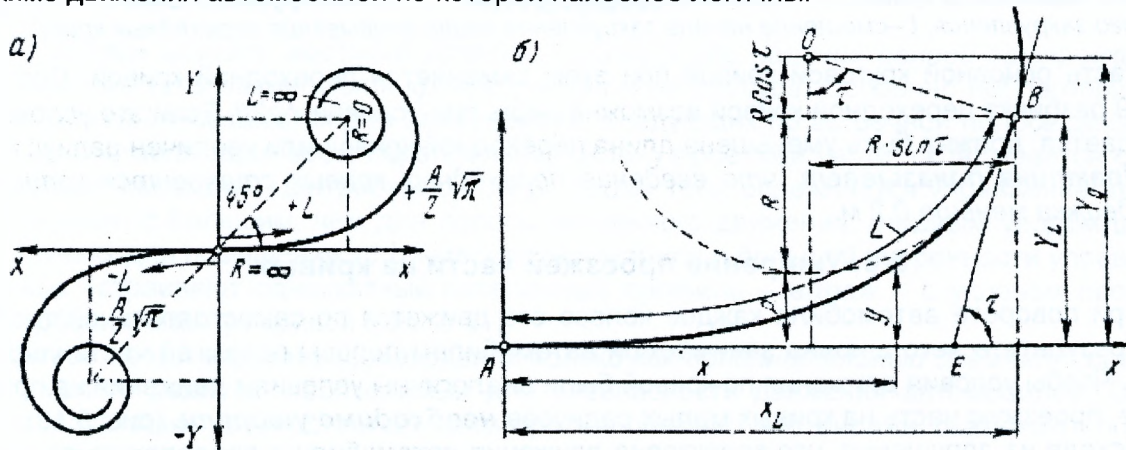


Рис. 5.8. Переходная кривая по клотоиде: а – клотоида; б – сопряжение клотоидой прямолинейного участка трассы с круговой кривой

Так как переходная кривая является частью клотоидной кривой, то ее координаты можно рассчитать по уравнениям клотоиды:

$$x = L - \frac{L^5}{40A^4} + \frac{L^9}{345A^8} \quad (5.14)$$

$$y = \frac{L^3}{6A^2} - \frac{L^7}{336A^6} + \frac{L^{11}}{42240A^{10}}$$

где $A = \sqrt{RL}$ – параметр клотоиды; L – длина участка кривой, соответствующего координатам x и y .

Ряды для x и y быстро сходятся, и при составлении таблиц обычно пользуются двумя первыми членами уравнений (5.14).

Введение переходных кривых вызывает смещение основной кривой внутрь угла с уменьшением ее длины с BE до CD (рис. 5.9). Это обстоятельство должно учитываться при назначении радиусов кривых, так как для сохранения расчетного значения радиуса R трасса должна быть разбита с радиусом $R_1 = R + p$.

Радиус $R_1 = R \cos \beta + y_0$, где y_0 – ордината переходной кривой в точке примыкания к круговой кривой; $\beta = L/2R$, рад. Отсюда сдвигка $p = R_1 - R = y_0 - R(1 - \cos \beta)$. Общая длина тангенса $T_1 = T + t$. Остальные параметры закругления с переходными кривыми находятся по формулам (рис. 5.9):

$$t = x_0 - R \sin \beta; B = (R - p)(\sec(\alpha/2) - 1); K = 2L + K_0; K_0 = \pi R(\alpha - \beta)/180; D = 2T_1 - K. \quad (5.15)$$

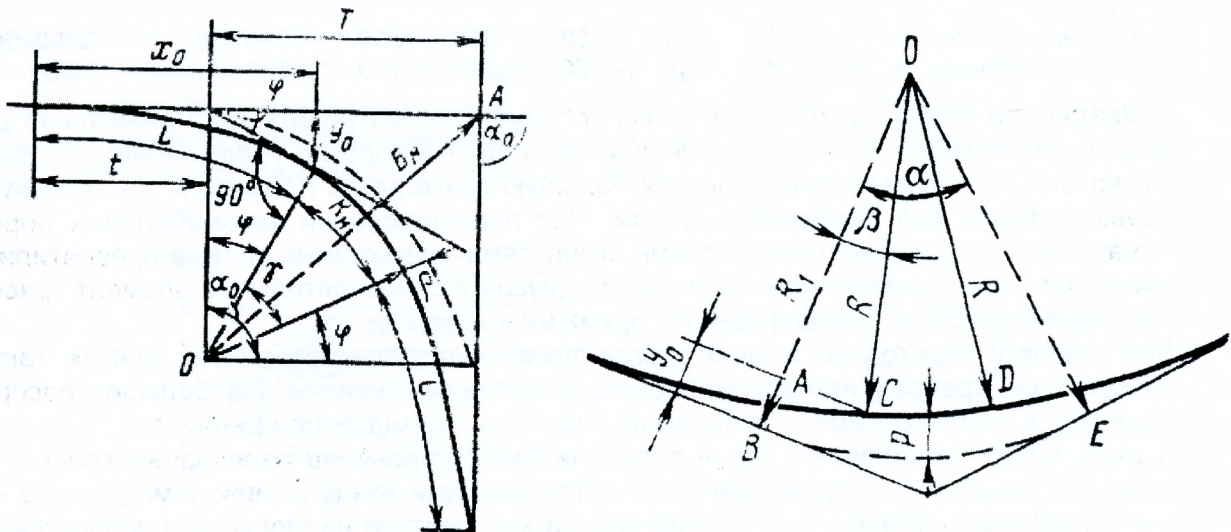


Рис. 5.9. Элементы кругового закругления с переходными кривыми: α – угол; A – вершина угла; L – длина переходной кривой; p – сдвигка круговой кривой; K_0 – длина круговой кривой; T – тангенс кругового закругления; t – смещение начала закругления после вписывания переходных кривых

Часть основной круговой кривой при этом заменяется переходной кривой. Согласно рис. 5.9 разбивка переходной кривой возможна лишь при условии $\alpha \geq 2\beta$. Если это условие не соблюдается, должна быть уменьшена длина переходной кривой или увеличен радиус R .

Практика показывает, что введение переходных кривых становится излишним, если сдвигка меньше 0,2 м.

5.6. Уширение проезжей части на кривых

При повороте автомобиля каждое колесо его движется по самостоятельной траектории, в результате чего ширина занимаемой автомобилем полосы проезжей части увеличивается. Чтобы условия движения по кривой были аналогичны условиям движения на прямом участке, проезжую часть на кривых малых радиусов **необходимо уширять** (рис. 5.10).

Исходя из допущения, что траектория движения автомобиля в пределах кривой является окружностью, можно получить приближенное выражение для необходимого уширения одной полосы движения на кривой. Из подобия треугольников ABC и BDC находим

$$AC/BC = BC/CD, \text{ или } AC(2R - AC) = l^2. \quad (5.16)$$

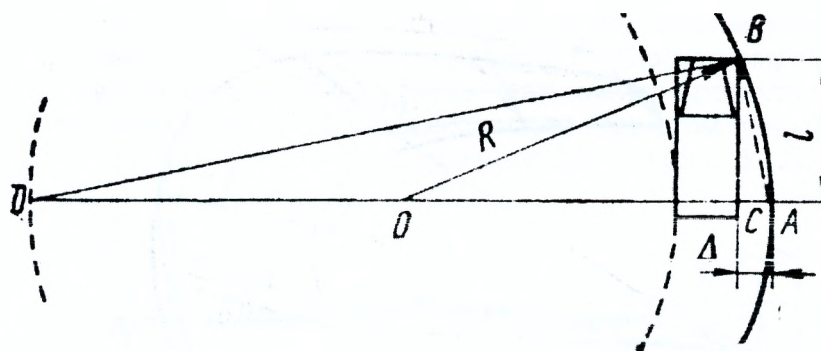


Рис. 5.10. Схема к определению ширины полосы движения на кривой

Пренебрегая в скобках величиной AC , малой по сравнению с $2R$, получаем, что *необходимое уширение одной полосы движения*

$$\Delta = AC = l^2 / 2R. \quad (5.17)$$

Полученная формула уширения на кривой основывается на чисто геометрических соображениях и *не учитывает неизбежных отклонений автомобиля при движении от средней траектории*. Поэтому она применима только для малых скоростей движения. *При больших скоростях уширение одной полосы движения рекомендуется принимать большим, учитывая влияние скорости движения V (в км/ч) и рассчитывать по формуле*

$$\Delta = l^2 / 2R + 0,05 \cdot V / \sqrt{R}. \quad (5.18)$$

Более сложно определение уширения для дорог со значительным движением *автопоездов*, у которых ширина полосы, занимаемой автопоездом, возрастает с числом прицепов. При обычных сцепных устройствах во время поворота автопоезда вокруг общего центра вращения прицепы смещаются внутрь кривой.

СНиП 2.05.02-85 предусматривает уширение проезжей части дорог с двумя полосами движения на кривых с радиусами менее 1000 м при одновременном ограничении допустимых длин автопоездов. Необходимое уширение проезжей части, составляя при радиусе кривой 1000 м 40 см, при меньших радиусах увеличивается в зависимости от длины расчетных автопоездов до 1,1-3,0 м на кривых радиусом 95 м и до 2,2-3,5 м – на серпантинах.

Проезжую часть уширяют с внутренней стороны кривой за счет обочины. Остающаяся часть обочин должна быть не менее 1,5 м на дорогах I и II категорий и 1,0 м – на дорогах остальных категорий. В пределах кривой уширение имеет постоянный размер, а затем постепенно уменьшается на протяжении переходных кривых.

На горных дорогах в виде исключения допускают на кривых малых радиусов частичное размещение уширения на внешней обочине.

5.7. Виражи

Во многих случаях местные условия – рельеф или наличие ценной застройки – не дают возможности разместить кривую расчетного радиуса. Особенно неблагоприятные условия движения создаются для автомобилей, следующих по встречной полосе движения, поскольку составляющая веса, параллельная уклону проезжей части, складывается с соответствующей проекцией центробежной силы. Кроме того, осложняется управление автомобилем в связи с большим, чем для полосы встречного движения, боковым уводом шин. В таких случаях для повышения устойчивости автомобиля и большей уверенности управления на кривых устраивают односкатный поперечный профиль – **вираж** – с уклоном проезжей части и обочин к центру кривой (рис. 5.11).

Долгое время виражи рассматривали только как *дополнительный элемент дороги* на кривых малого радиуса, необходимый для безопасности движения автомобилей. Однако опыт эксплуатации автомобильных магистралей показал, что виражи оказывают положительное психологическое воздействие на водителей, способствуя уверенному проезду кривых без неоправданного снижения скорости. При отсутствии виражей скорость на кривых снижается. *Поэтому в настоящее время рекомендуется устраивать виражи на кривых в плане с радиусами, меньшими 3000 м на дорогах I категории и 2000 м – на дорогах остальных категорий*.

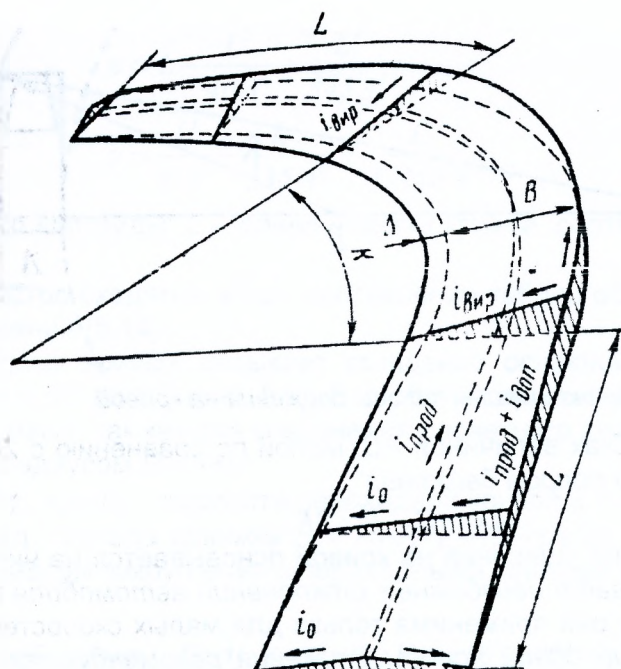


Рис. 5.11. Схема виража на дороге с двухскатной проезжей частью: L – отгон виража и переходная кривая; K – круговая кривая; B – ширина проезжей части; Δ – уширение проезжей части

Поперечный уклон виража, необходимый для обеспечения скорости движения V (в м/с), при заданном радиусе кривой R может быть определен путем преобразования выражения (5.6)

$$i_{\text{вир}} = \frac{V^2}{gR} - \mu = \frac{V^2}{gR} - \varphi_{\text{н}}, \quad (5.19)$$

где $\varphi_{\text{н}}$ – расчетное значение используемой части коэффициента сцепления колеса с дорогой; в данном случае за основной критерий, определяющий коэффициент поперечной силы μ принимают устойчивость автомобиля против заноса.

Расчетные значения поперечного уклона на вираже для высоких скоростей движения при малых радиусах кривых могут получаться значительными. Такие виражи устраивают, например, на автодромах, предназначенных для автомобильных гонок.

При проектировании виражей на автомобильных магистралях, рассчитанных на высокие скорости движения, исходят из различных допущений о пропорциональном распределении поперечной силы между сопротивлением шины сдвигу вбок по покрытию и сопротивлением поднятию автомобиля вверх по виражу.

При проектировании виражей на автомобильных магистралях, рассчитанных на высокие скорости движения, исходят из различных допущений о пропорциональном распределении поперечной силы между сопротивлением шины сдвигу вбок по покрытию и сопротивлением поднятию автомобиля вверх по виражу. Обычно считают, что на вираж можно передать 1/3-1/4 действующей на автомобиль центробежной силы.

СНиП 2.05.02-85 предусматривает следующие поперечные уклоны виражей в зависимости от радиусов кривых в плане:

$R, \text{ м}$	3000-1000	1000-700	700-650	650-600	< 600;
$i_{\text{в}}, \text{ ‰}$	20-30	30-40	40-50	50-60	60.

В районах с частыми туманами и длительными периодами гололеда уклоны виражей не должны превышать 40‰. Лишь в районах с незначительной продолжительностью снегового покрова и редкими случаями гололеда допускается увеличивать поперечный уклон проезжей части на вираже до 100‰. Однако такие крутые виражи неудобны для грузовых автомобилей, движущихся со скоростью, меньшей расчетной.

При поперечном уклоне виража, равном уклону проезжей части на прямом участке, для перехода к односкатному профилю постепенно поворачивают внешнюю половину проезжей части вокруг оси дороги.

При более сложном и в то же время частом случае разбивки виража с уклоном, превышающим уклон проезжей части дороги, для перехода к односкатному профилю производят одновременный поворот внутренней половины поперечного профиля около внутренней кромки покрытия, а внешней – около оси проезжей части. При этом одновременно ось проезжей части смещается внутрь на половину уширения покрытия (рис. 5.12).

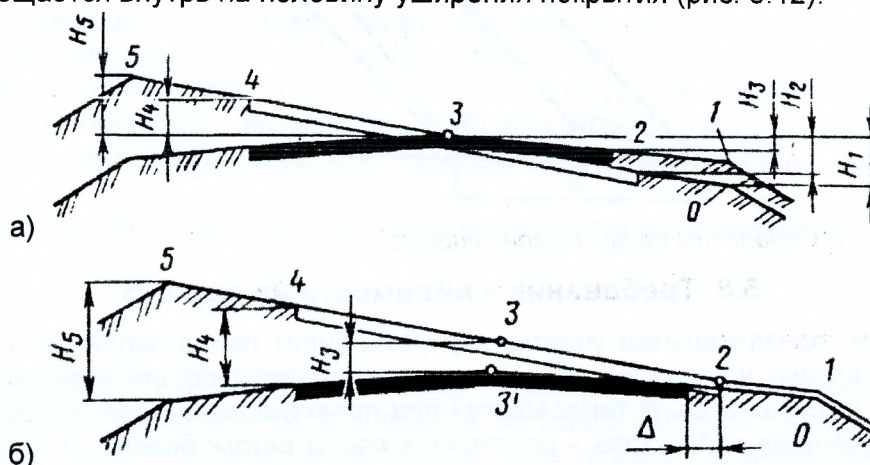


Рис. 5.12. Способы перехода от двухскатного поперечного профиля к односкатному на виражах: а – при повороте поперечного профиля около оси проезжей части; б – при повороте поперечного профиля около внутренней бровки и середины проезжей части; 1-5 – отметки характерных точек поперечного профиля

Характерные изменения поперечного профиля:

- 1) поперечный уклон обочин на виражах принимают равным уклону проезжей части дороги, предусматривая их укрепление;
- 2) уклон обочин изменяют на протяжении 10 м перед началом виража;
- 3) для безопасности движения необходимо, чтобы внешняя обочина имела уклон в ту же сторону, что и проезжая часть;
- 4) неукрепленным обочинам придают обратный уклон от центра кривой.

Переход от двухскатного поперечного профиля проезжей части на прямом участке к односкатному профилю на вираже осуществляют плавно в пределах участка, называемого **отгоном виража**. Переход от двухскатного профиля дороги к односкатному следует осуществлять на протяжении переходной кривой, а при отсутствии ее (при реконструкции дорог) – на прилегающем к кривой прямом участке, равном длине переходной кривой. Длина его не должна быть слишком короткой, так как в этом случае при движении автомобиля с большей скоростью по дороге с меняющимся поперечным профилем возникает неприятное для пассажира боковое раскачивание автомобиля. Необходимую минимальную длину отгона виража, которая не должна быть меньше длины переходной кривой определяют исходя из дополнительного уклона, возникающего у внешней кромки проезжей части в результате ее поднятия при устройстве виражей.

Если продольный уклон оси дороги составляет i_{np} , то общий уклон кромки проезжей части на участке отгона виража

$$i_{омг} = i_{np} + \frac{Bi_{non}}{L} = i_{np} + i_{дон}, \quad (5.20)$$

где B – ширина проезжей части, м; L – длина отгона виража, м; i_{non} – поперечный уклон покрытия, в долях единицы.

Минимальная длина отгона виража составляет согласно рис. 5.13

$$L_{омг} = \frac{Bi_a}{i_{дон}}. \quad (5.21)$$

Общий уклон по кромке проезжей части на участках отгона виража не должен превышать допустимый для данной дороги в исключительных случаях. Дополнительный продольный уклон $i_{дон}$ на участке отгона виража для дорог I и II категорий принимают не более 5‰, а для прочих дорог – 10‰ в равнинной и пересеченной местности.

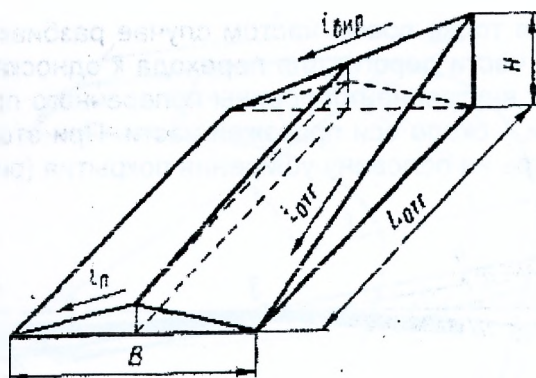


Рис. 5.13. Схема к определению длины отгона виажа

5.8. Требования к видимости на дорогах

На прямом горизонтальном участке водитель видит перед собой дорогу на большом расстоянии. На кривых в плане и у переломов продольного профиля видимый участок дороги значительно уменьшается. В таких местах при проектировании должна быть специально обеспечена *расчетная видимость* – расстояние перед автомобилем, на котором водитель должен видеть перед собой дорогу, чтобы, заметив препятствие, осознать его опасность и успеть объехать или затормозить и остановиться.

В теории проектирования дорог предложено много схем видимости, учитывающих условия движения автомобилей, а также расположение автомобилей и препятствий на дороге. Их можно разделить на **три основных группы**.

- 1) Остановка автомобиля перед препятствием или объезд автомобилем препятствия (S_I)

$$S_I = \frac{V}{3,6} + \frac{K_3 V^2}{254(\varphi_{np} \pm i + j)} + l_{36}, \quad (5.22)$$

где V – скорость движения автомобиля, км/ч; K_3 – коэффициент, учитывающий эффективность действия тормозов; φ_{np} и j – коэффициенты продольного и поперечного сцепления автомобильной шины с поверхностью проезжей части; i – продольный уклон участка дороги («+» – подъем; «-» – спуск), в долях единицы; l_{36} – зазор безопасности, м.

- 2) Торможение автомобилей, движущихся на встречу друг другу (S_{II})

$$S_{II} = \frac{V}{1,8} t_p + \frac{K_3 \varphi_{np} V^2}{127(\varphi_{np}^2 - i^2)} + l_{36}, \quad (5.23)$$

где t_p – время реакции водителя и включения тормозов, с.

- 3) Обгон легковым автомобилем грузового при наличии встречного движения (S_{III}).

$$S_{III} = \frac{V_1^2}{1,8(V_1 - V_2)} + \frac{K_3 V_1 (V_1 + V_2)}{127 \varphi_{np}} + \left(\frac{K_3 V_2^2}{254 \varphi_{np}} + l_{36} \right) \frac{2V_1}{V_1 - V_2}, \quad (5.24)$$

где V_1 и V_2 – скорости легкового и грузового автомобиля соответственно, км/ч.

При расчетах видимости исходят из предпосылки, что глаза водителя расположены на высоте 1,2 м над поверхностью покрытия посередине полосы движения, а препятствие на дороге имеет высоту 0,2 м. Для этих условий необходимые расстояния видимости приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Минимальные расстояния видимости

Расчетная скорость, км/ч	Наименьшие расстояния видимости, м	
	для остановки	встречного автомобиля
150	300	–
120	250	450
100	200	350
80	150	250
60	85	170
50	75	130
40	55	110
30	45	90

Технические условия большинства стран также предусматривают обязательные расстояния видимости 200-300 м. Однако за рубежом при проектировании дорог магистрального типа с высокими скоростями движения стремятся обеспечить видимость *не менее 600-750 м*, так как это увеличивает уверенность водителей при управлении и повышает безопасность движения.

Для дорог в густозастроенной местности, особенно в городских условиях, а также на пересечениях с автомобильными и железными дорогами в одном уровне обеспечение безопасности движения требует достаточной *боковой видимости* придорожной полосы. Водитель автомобиля должен иметь возможность заблаговременно увидеть на улице ребенка, выбежавшего со двора или с тротуара, а на пересечениях в одном уровне – приближающийся автомобиль

Минимальное необходимое расстояние боковой видимости определяется по зависимости

$$S_{бок} = \frac{V_n}{V_a} S_I, \quad (5.25)$$

где V_a – расчетная скорость автомобиля, км/ч; V_n – скорость движения пешехода или транспортного средства по пересекающей дороге, для бегущего человека может быть принята равной 10 км/ч; S_I – расчетное расстояние видимости из условия остановки перед препятствием, м.

СНиП 2.05.02-85 требует обеспечивать боковую видимость от кромки проезжей части 25 м на дорогах I-III категорий и 15 м на дорогах IV и V категорий.

5.9. Обеспечение видимости на кривых в плане

Видимость на кривых в плане проверяют исходя из следующих соображений:

- 1) она проверяется для автомобиля, следующего по крайней внутренней полосе движения;
- 2) принимается, что глаз водителя расположен посередине полосы движения и на высоте 1,2 м;
- 3) поскольку под видимостью подразумевается длина пути, который автомобиль проходит по дороге, расстояние видимости при проверке измеряют по траектории движения автомобиля.

Математический анализ видимости исходит из исследования уравнения кривой, огибающей систему лучей взгляда водителя при движении автомобиля по круговой кривой с переходными кривыми и уширениями. На практике для построения границ срезки препятствий в зоне видимости чаще всего применяют **графический метод**:

- 1) на плане закругления, вычерченном в крупном масштабе (рис. 5.14) от точек начала и конца закругления откладывают расстояние $S/3$, где S – расчетное расстояние видимости;
- 2) затем на траектории движения автомобиля от полученных точек до середины закругления намечают ряд точек через $S/10$;
- 3) концы этих отрезков соединяют прямыми линиями длиной S , огибающая которых определяет границу видимости.

Намечая уровень срезки в выемках, необходимо учитывать зарастание их в дальнейшем травой и выпадение снега. Наиболее целесообразно доводить срезку в выемках до уровня поверхности дороги.

Для проверки обеспеченности видимости дороги в плане и упрощенного построения границ зоны видимости можно *ограничиваться установлением размера срезки в середине кривой по биссектрисе*. Рассмотрим наиболее общий случай, когда длина кривой K меньше, чем необходимое расстояние видимости S , т.е. $K < S$.

Необходимая срезка, как видно из рис. 5.15 – $\delta = \overline{DE} + \overline{EH}$.

После математических преобразований получим

$$\delta = R_1 \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(S - \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180}\right) \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (5.26)$$

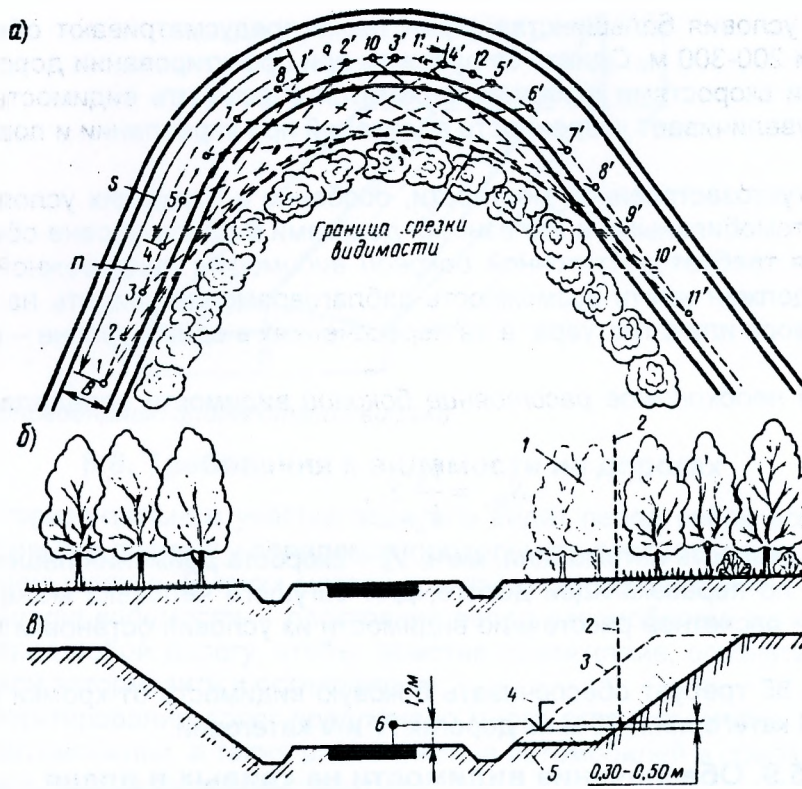


Рис. 5.14. Схема определения видимости на кривых в плане: а – графическое построение границ срезки видимости; б – граница вырубki леса; в – граница срезки в выемке; В – ширина проезжей части; П – полоса движения автомобиля; 1 – расчистка для обеспечения видимости в лесу; 2 – граница зоны видимости; 3 – срезка в выемке; 4 – минимальный необходимый уровень срезки; 5 – наиболее целесообразный уровень срезки; 6 – положение глаз водителя

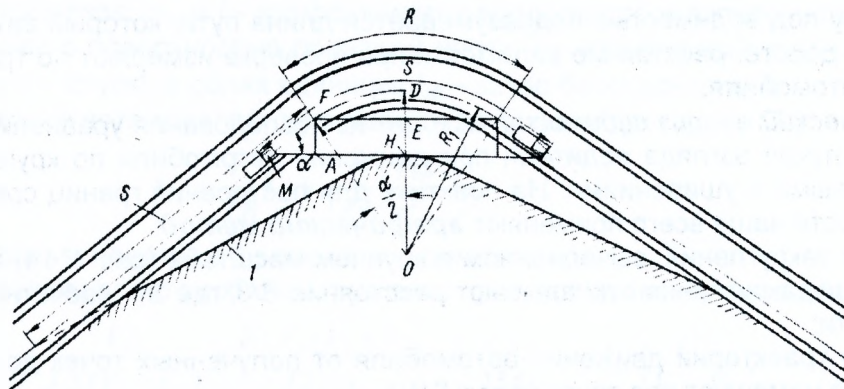


Рис. 5.15. Схема к определению срезки видимости: 1 – граница срезки видимости

В частном случае, когда $K > S$, выражение (5.26) упрощается и принимает вид

$$\delta = R_1 \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha_1}{2} \right), \quad (5.27)$$

где α_1 – угол, стягивающий дугу окружности, равную расстоянию видимости, град:

$$\alpha_1 = \frac{S \cdot 180^\circ}{\pi \cdot R_1}. \quad (5.28)$$

В обоих случаях в пределах кривой величину срезки можно принять постоянной и провести границу срезки по концентрической окружности. Срезка должна начинаться на прямой или переходной кривой на расстоянии видимости $S/3$ от начала и конца кривой.

Если видимость ограничивается пролетными строениями мостов или опорами путепроводов, для ее обеспечения необходимо перетрассировать дорогу, устранив кривую или существенно увеличив ее радиус.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ПЛАНЕ

6.1. Учет интенсивности и объема грузопотоков при выборе направления трассы

При проектировании автомобильных дорог встречаются два принципиально отличных случая выбора направления трассы.

1. Проектирование больших автомобильных магистралей или дорог высших категорий, когда общее направление дороги и основные промежуточные пункты назначаются из общегосударственных, административных, культурных и оборонных соображений. Эти дороги используются преимущественно для дальних и межобластных автомобильных перевозок. Обслуживание местных грузопотоков, возникающих от приближения магистральной дороги к небольшим промышленным предприятиям и населенным пунктам, играет второстепенную роль в назначении ее трассы, и эти пункты, как правило, обходятся.

2. Проектирование сетей дорог промышленных и сельскохозяйственных районов, связывающих между собой ряд пунктов возникновения и потребления грузов, а также проектирование подъездных путей от промышленных предприятий, совхозов, рудников и других мест образования потоков грузов, тяготеющих к существующим дорогам, станциям железных дорог и речным пристаням. В этом случае начертание сети дорог или направление подъездных путей определяется преимущественно потребностями обслуживания местных грузопотоков. Трассы дорог должны быть выбраны таким образом, чтобы объем транспортной работы при выполнении перевозок был наименьшим, а пассажирские сообщения удобны для пользующихся дорогой.

При необходимости связать два населенных пункта естественно строительство дороги по соединяющей их прямой линии (воздушной линии). Однако при большом числе взаимно тяготеющих населенных пунктов невозможно построить сеть дорог, непосредственно соединяющих каждый населенный пункт со всеми другими (рис. 6.1а) по кратчайшему направлению. Создание такой сети было бы не оправдано экономически и привело бы к бесхозяйственному изъятию больших земельных площадей из сельскохозяйственного производства. Поэтому при проектировании начертания дорожной сети должно быть найдено такое компромиссное решение, в котором удовлетворение требований автомобильного транспорта к эффективности перевозок сочеталось бы с экономией затрат на строительство, включая и стоимость земли, отведенной под дорогу.

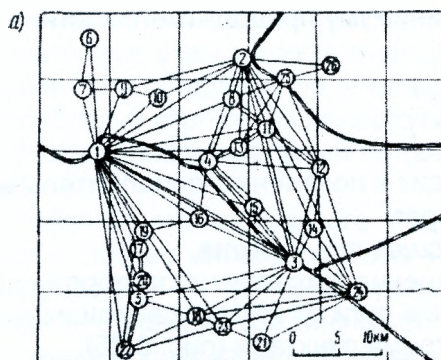
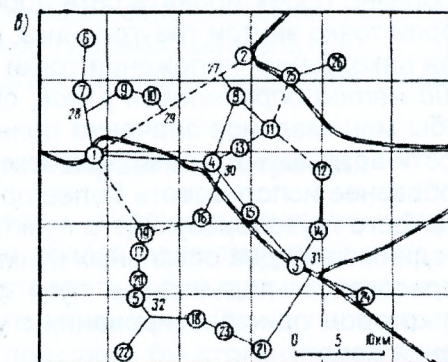
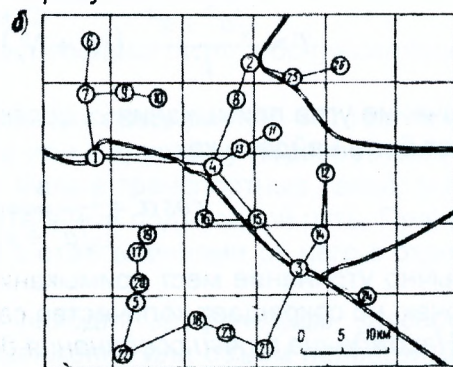


Рис. 6.1. Дорожная сеть района: а – схема транспортных связей; б – минимальная по протяженности сеть дорог, связывающая грузообразующие точки; в – сеть дорог, уточненная путем установления рациональных мест примыканий и разветвлений



В соответствии с принятой в настоящее время методикой сравнения вариантов за критерий оптимальности начертания дорожной сети принимают минимум приведенных строительных и эксплуатационных затрат. Предложен ряд математических методов отбора из ряда возможных вариантов начертания дорожных сетей наивыгоднейшего варианта, удовлетворяющего критерию оптимальности. В настоящее время еще нельзя с полной определенностью высказаться о преимуществах какого-либо из них.

Проектирование начертания дорожной сети ведут, не учитывая влияния рельефа и ситуации местности, получая таким образом сеть воздушных линий, которая дает основную ориентировку для выбора направления отдельных дорог при изысканиях на местности (рис. 6.16). Влияние рельефа подлежит учету лишь при наличии непреодолимых препятствий – горных хребтов, больших озер и заболоченных массивов. Горные перевалы и места обхода являются в этом случае точками обязательного транзитного прохода всех грузопотоков. Неизбежные отклонения трассы от найденных воздушных линий, вызванных местными топографическими условиями, нередко выдвигаются в качестве аргумента против широкого использования технико-экономических методов обоснования начертания дорожной сети. Однако влияние таких отклонений не следует переоценивать.

Для практических целей удобен метод, при котором **проектирование сети** выполняют в несколько этапов:

1) выбор основной схемы связей между корреспондирующими грузообразующими пунктами, которая удовлетворяет требованию наименьшей суммарной протяженности. Это обеспечивает минимальные затраты на строительство;

2) уточнение первоначально намеченной сети путем введения дополнительных звеньев для удовлетворения критерия минимума приведенных дорожно-транспортных затрат на перевозки;

3) окончательная корректировка намеченной сети путем уточнения мест примыкания и разветвлений дорог.

При этом приходится решать **следующие задачи**.

1) **Нахождение точки примыкания подъездного пути к дороге более высокой категории** (рис. 6.2а). Пусть интенсивность движения из пункта А в пункт В равна N_a , а в пункт С равна N_c . Определим угол примыкания из условия затрат времени на перевозки. Скорости движения по магистральной дороге V_m , по подъездному пути V_n зависят от типа проезжей части и категории дорог, определяемых интенсивностями движения.

Затраты времени на перевозки составят

$$T = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{V_n} \cdot (N_a + N_c) + (L - x - m) \cdot \frac{N_a}{V_m} + (m + x) \cdot \frac{N_c}{V_m}. \quad (6.1)$$

Значение угла примыкания α , соответствующее минимуму продолжительности перевозок, может быть найдено как

$$\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{V_n \cdot (N_a - N_c)}{V_m \cdot (N_a + N_c)}. \quad (6.2)$$

Обычно уточнение мест примыкания дорог приводит к появлению дополнительных узловых точек, но сокращает количество связывающих дорог.

2) **Нахождение точки соединения дорог, связывающих три пункта**.

При соединении дорогами трех пунктов для сокращения протяженности дорожной сети целесообразно проектировать сеть дорог как подъездные пути от грузообразующих пунктов к некоторой точке внутри треугольника, образованного тремя пунктами (рис. 6.2б).

Для нахождения положения точки соединения дорог был предложен **точный математический метод определения углов**, образуемых этими дорогами, при которых удовлетворялось бы минимальное значение принятого для оценки критерия. Однако, поскольку речь идет о сети воздушных линий, неизбежно корректируемых при трассировании на местности, целесообразнее использовать более **простой приближенный метод**, заключающийся в том, что из каждого грузообразующего пункта отыскивается направление подъездного пути к дороге, соединяющей два остальных пункта.

Пересекаясь, подъездные пути образуют так называемый «треугольник погрешностей», в котором при трассировании с учетом местных условий выбирают положение точки соединения дорог.

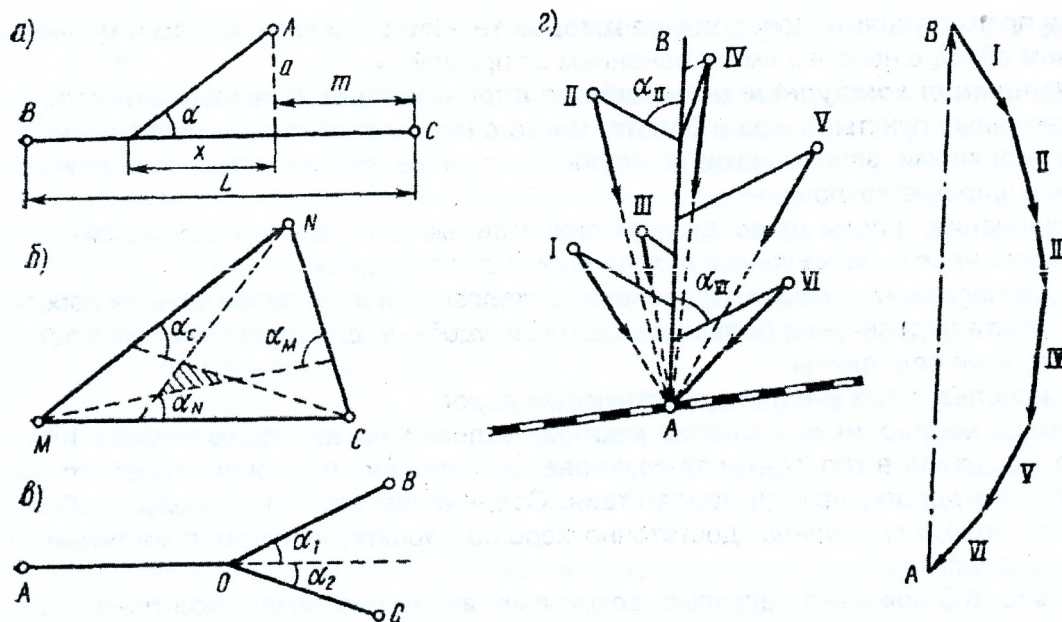


Рис. 6.2. Схемы к технико-экономическому обоснованию выбора направления трассы дороги: а – определение точки примыкания подъездного пути к дороге более высокой категории; б – нахождение точки соединения дорог, связывающих три пункта; в – определение места разветвления дороги; г – нахождение направления магистрального пути, обслуживающего несколько грузообразующих пунктов с разложением маршрута на составляющие (справа)

3) Определение места разветвления дороги.

Если дороги, соединяющие два пункта, объем перевозок между которыми мал, с третьим, образуют между собой малый угол, целесообразно вначале строить объединенную дорогу, разветвляющуюся на некотором расстоянии (рис. 6.2в). Очевидно, что эту задачу можно рассматривать как определение такого положения магистрального участка АО, при котором направления ответвлений в точки В и С удовлетворяют требованиям к углам примыкания, установленным выше.

Положение места разветвления дорог на плане определяют, отложив из какой-либо точки прямой, вычерченной на прозрачной бумаге, линии под углами α_1 и α_2 , и находят такое ее положение, чтобы линии прошли через точки А, В и С.

4) Нахождение направления магистрального подъездного пути, обслуживающего несколько грузообразующих пунктов (рис. 6.2г).

Если несколько населенных пунктов и промышленных предприятий тяготеют к одному пункту, например станции железной дороги, пристани или к крупному перерабатывающему промышленному предприятию, а между собой имеют малые транспортные связи, заведомо нецелесообразно строить из каждого пункта самостоятельный подъездной путь. Правильнее провести общий магистральный подъездной путь АВ с ответвлениями от него к отдельным пунктам.

Положение магистрального подъездного пути находят *графическим способом построения силового многоугольника*. Интенсивность движения или объем перевозимых грузов между каждой из грузообразующих точек и центром рассматривается как вектор, направленный по прямой, соединяющей эти точки. *Замыкающая силового многоугольника является равнодействующей, показывающей направление основной магистрали.*

Примыкания отдельных подъездных путей к магистральному решаются описанным выше способом.

6.2. Учет местных условий при выборе направления трассы

В задании на проектирование дороги бывают указаны начальная, конечная и промежуточные точки, через которые должна быть проведена трасса проектируемой дороги. Эти точки, называемые *опорными пунктами*, могут представлять собой промышленные, политико-административные или культурные центры, транспортные узлы. При попытке трассировать дорогу прямыми, соединяющим опорные пункты, пришлось бы столкнуться с многочис-

ленными препятствиями, преодоление которых технически и экономически менее целесообразно, чем обход с небольшим отклонением от прямой линии.

Различают контурные и высотные препятствия. К первым относятся излучины рек, населенные пункты, озера и болота, места с неблагоприятными почвенными и геологическими условиями, заповедники; ко вторым – горные хребты, отдельные возвышенности, глубокие и широкие котловины.

Отклонение трассы от воздушной линии вызывается также необходимостью прохождения дороги через *контрольные точки*. К их числу относятся:

- 1) согласованные места пересечений с железными и автомобильными дорогами;
- 2) места пересечения больших водотоков, удобные для строительства мостов,
- 3) горные седловины;
- 4) используемые участки существующих дорог.

Осмотр местности или анализ местных условий по аэрофотоснимкам или по карте крупного масштаба в горизонталях позволяет *наметить ряд точек*, через которые может пройти трасса дороги, обходя препятствия. Соединение этих точек между собой дает *ряд вариантов воздушных линий*, достаточно хорошо характеризующих возможные направления трассы дороги.

На рис. 6.3 показано несколько возможных вариантов воздушной линии между опорными пунктами. На участке *AB* число возможных вариантов определяется:

- 1) необходимостью обхода озера;
- 2) использованием седловин *a* и *б*;
- 3) возможностью отклонения трассы для пересечения железной дороги на участке, где она проходит выемкой для устройства путепровода.

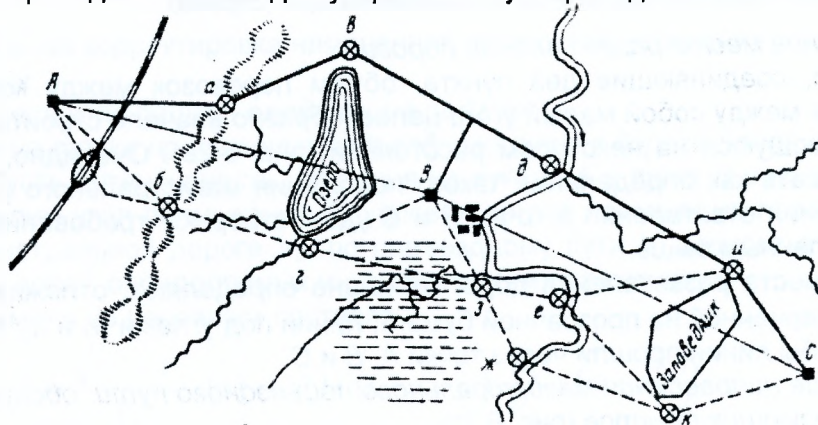


Рис. 6.3. Варианты воздушной линии между опорными пунктами

Фиксированные точки обхода озера *в* и *г* вызывают необходимость дальнейшего отклонения *северного варианта трассы* (сплошная линия на рисунке). Малые водотоки, впадающие в озеро могут быть пересечены под углом или их русло может быть спрямлено. Пересечение следующего крупного препятствия – *большой реки* – по условиям выбора места мостового перехода возможно в точках *д*, *е* и *ж*. Расположение этих точек указывает на целесообразность проложения северного варианта трассы в обход промежуточного пункта *B* с устройством к нему подъездного пути.

У *южного варианта* (пунктир на рисунке) приток реки и заболоченные участки в его верховье делают более выгодными приближение к пункту *B*, а от него в точку *ж* в обход излучины реки. Для дорог высших категорий должен быть рассмотрен также вариант пересечения болота *г–з*, сокращающий длину дороги.

Дальнейшее направление обоих вариантов определяется границами заповедника (точки *и* и *к*), пересечение которого дорогой недопустимо.

Выбор трассы дороги предопределяет:

- 1) ее протяженность;
- 2) расположение всех капитальных дорожных сооружений;
- 3) стоимость выполнения строительных работ;
- 4) показатели работы автомобильного транспорта в течение последующей многолетней эксплуатации дороги.

Что касается **основных принципов трассирования с учетом местных условий**, то они следующие:

- 1) следует избегать использования *ценных сельскохозяйственных угодий*. Не следует прокладывать дороги по территориям заповедников, в лесопарках, в непосредственной близости к памятникам архитектуры и истории, в берегозащитных полосах, через отдельные рощи в безлесных степных районах и т. д. Потери сельскохозяйственного производства и землепользователей, связанные с изъятием ценных земель, подлежат возмещению строительной организацией;
- 2) в большинстве случаев необходимо отдавать предпочтение вариантам обхода участков с неблагоприятными *гидрогеологическими условиями*, если это не связано с чрезмерным удлинением трассы дороги;
- 3) из *метеорологических условий* при выборе трассы следует учитывать направление господствующих ветров, от которого зависит заносимость дороги снегом. Всегда предпочтительнее проложить трассу так, чтобы бассейны, с которых приносится на дорогу снег во время поземок, имели бы меньшие площади и были покрыты задерживающей снег растительностью;
- 4) *гидрологический режим* пересекаемых водотоков влияет на выбор места их пересечения и необходимые размеры мостов, а в некоторых случаях определяет возможность трассирования дороги по долинам рек. Большие расходы воды на пересекаемых водотоках, вызывающие необходимость строительства крупных дорожных искусственных сооружений, часто делают целесообразным смещение трассы ближе к водоразделу;
- 5) большое значение для работы дороги имеет ее *расположение по отношению к сторонам света*. Количество солнечного тепла, поглощаемое склонами разной экспозиции, меняется в очень большой степени. Южные склоны раньше очищаются от снега и быстрее просыхают, чем северные. На них интенсивнее протекают процессы выветривания и эрозии. Южный откос выемки при высоте солнца над горизонтом 30° аккумулирует в 14 раз больше тепловой солнечной энергии, чем северный. Часто правильный выбор склона долины может существенно улучшить работу строящейся дороги;
- 6) в лесисто-болотистой местности для лучшего осушения земляного полотна дороги целесообразно приближать ее к северной стороне просеки, устраивая полосу отвода несимметричной.

6.3. Учет снеготранспорта при проложении трассы

Территория Беларуси более чем на 3 месяца в году покрывается снегом. При ветрах со скоростью более 3-5 м/с снеговой покров начинает сдуваться и переносится в приземном слое воздуха (*поземка*). При этом до 90% снега перемещается непосредственно у поверхности снеговых отложений в пределах нижних 10 см. Если перенос происходит при снегопаде, возникает *низовая метель*.

Если на пути воздушного потока, переносящего снег (*снеговетрового потока*), встречается *дорожная насыпь*, условия движения воздушных струй меняются, при этом:

- 1) на некоторой высоте над поверхностью земли изменение рельефа не отражается на скорости ветра;
- 2) в нижних слоях поток воздуха, обтекая препятствие на своем пути, проходит через меньшее сечение;
- 3) скорость снеговетрового потока возрастает, но в непосредственной близости от препятствия образуются зоны затишья – *аэродинамическая тень*, в которой откладывается большая часть переносимого снега. Приблизительно можно считать ее ограниченной откосом с заложением 1:7-1:10;
- 4) над понижениями местности воздушный поток расширяется, скорость его снижает, и часть снега выпадает, заполняя понижение.

Земляное полотно автомобильных дорог является заметным препятствием для движения снеговетрового потока. Отлагающееся около него значительное количество снега, образуя заносы, затрудняет, а иногда и полностью прерывает движение. **Заносимость дорог**

зависит от их поперечного профиля и количества снега, приносимого к дороге с окружающей местности.

Образование снеговых отложений около насыпей, выемок и на косогорных участках дорог (рис. 6.4) связано с образованием зон затишья около откосов и завихрений у резко выраженных переломов откосов. Если к дороге за зиму приносится меньше снега, чем может отложиться в пределах зоны аэродинамических теней, участок дороги можно считать **незаносимым**. Однако этот вывод справедлив только при условии, что снеговые валы удаляются своевременно при очистке дороги путем отбрасывания роторными снегоочистителями на придорожную полосу. В противном случае они образуют препятствия, у которых возникают новые отложения снега.

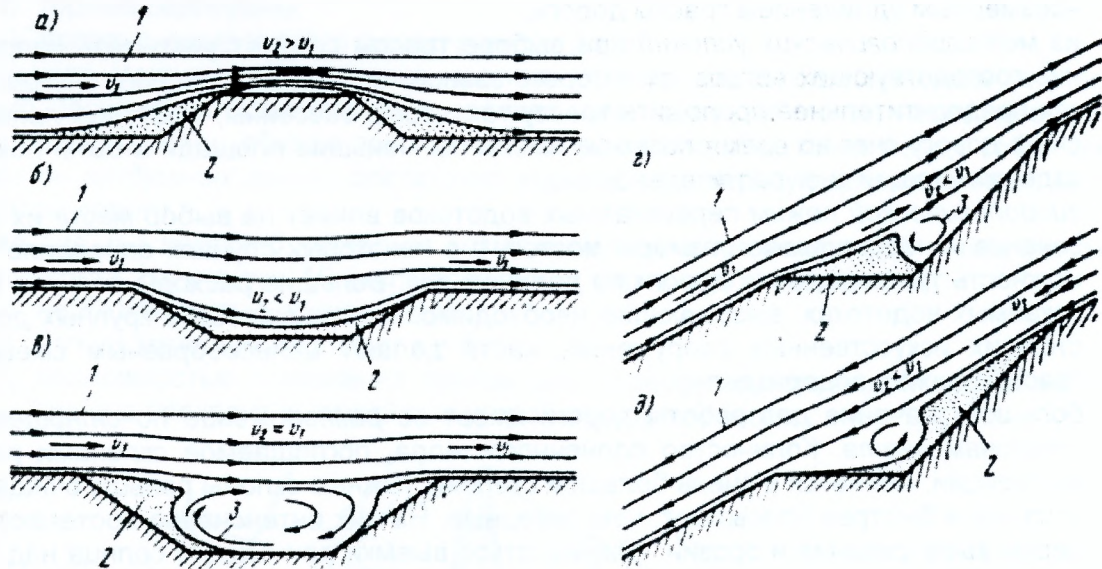


Рис. 6.4. Схемы образования снеговых отложений при обтекании земляного полотна снеговетровым потоком: а – насыпь; б – мелкая выемка; в – глубокая выемка; г – полка на наветренном косогоре; д – полка на подветренном косогоре; 1 – снеговетровой поток; 2 – зона отложения снега; 3 – зона выдувания снега

Количество приносимого к дороге снега зависит от:

- 1) объема выпадающего снега;
- 2) силы ветра;
- 3) площади, с которой снег может сметаться ветром;
- 4) наличия на пути снеговетрового потока задерживающих препятствий (растительность, неровности поверхности земли). В лесных и лесостепных районах принимают, что к дороге сносится половина выпадающего снега.

Количество выпадающего снега устанавливают по данным метеостанций или по картам среднегодулетней высоты снегового покрова, скорость и направление ветра – по данным метеорологических справочников.

Максимальное количество принесенного к дороге снега (m^3 на 1 м дороги) в первом приближении можно определить по зависимости

$$Q = (k \cdot h \cdot L - \sum q) \cdot \sin \alpha, \quad (6.3)$$

где k – количество снега, приносимого со снегосборного бассейна, в долях от объема выпавшего снега; h – толщина снегового покрова, м; L – длина снегосборного бассейна, м; α – угол между направлением зимних ветров и дороги, принимаемый по розе зимних ветров; $\sum q$ – количество снега, удерживаемого неровностями поверхности снегосборного бассейна (учитываются только неровности, превышающие толщину остающегося несметенным слоя снега).

Расчет количества снега, приносимого к дороге (рис. 6.5), ведется методом последовательного подсчета баланса снега с учетом размера снегопереноса и задержания препятствиями.

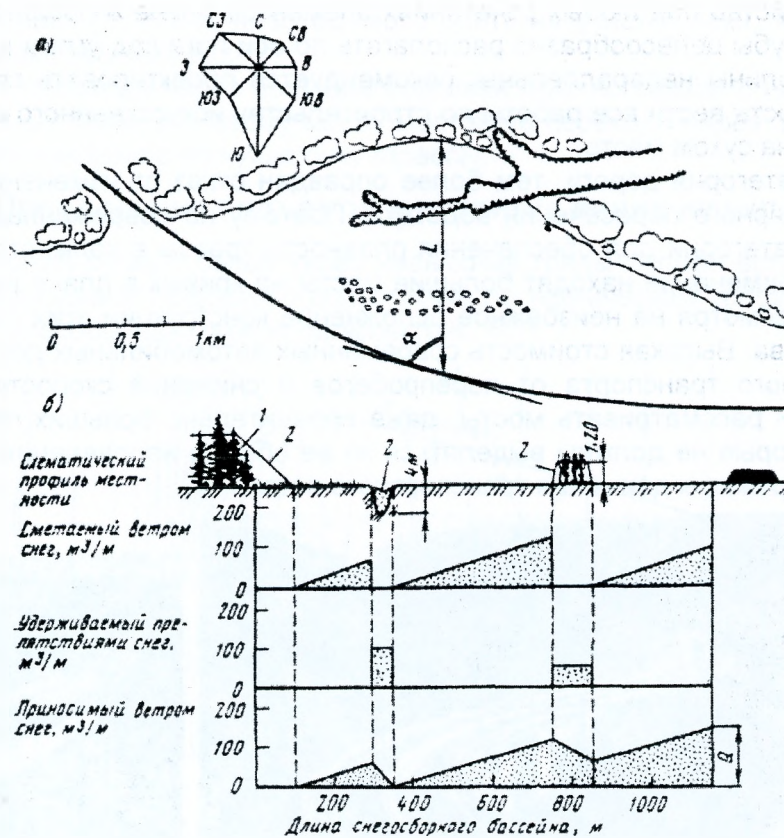


Рис. 6.5. Схема для определения количества снега, приносимого к дороге: а – план снегосборного бассейна; б – схема к определению сносимого и задерживаемого снега; 1 – опушка леса; 2 – границы аэродинамической тени

Все это и определяет **основные принципы проложения трассы с учетом снего-незаносимости**:

- 1) площадь снегосборных бассейнов с учетом розы ветров во время месяцев с наибольшим количеством метелей должна быть наименьшей, т.е. чтобы к дороге приносилось меньше снега;
- 2) необходимо приближать трассу к подветренным опушкам леса, оврагам, населенным пунктам, зарослям кустарников и другим местам, где откладывается снег;
- 3) целесообразно учитывать тот факт, что мало заносятся участки дорог, составляющие с направлением господствующих ветров угол *менее 30°*;
- 4) нужно стремиться избегать прокладывать дорогу по пониженным местам. Пересекать их лучше по кратчайшему направлению;
- 5) необходимо по возможности приближать дорогу на подветренных склонах к верхней части косогора, поскольку верхняя граница снежных отложений располагается обычно в пределах 5-10 м выше подошвы откоса. На наветренных склонах лучше прокладывать трассу в нижней части или даже по долине в 80-100 м от подошвы склона.

6.4. Пересечение водотоков

Трассы автомобильных дорог пересекают большое число постоянных и периодически действующих водотоков.

Мосты и трубы на автомобильных дорогах следует располагать таким образом, чтобы при обеспечении беспрепятственного пропуска высоких вод и соблюдении требований экономичности строительства и удобства движения автомобилей не нарушать плавности трассы. Несмотря на то, что наиболее экономичным и целесообразным в отношении пропуска воды является перпендикулярное пересечение дорогой водотоков, современные технические условия проектирования дорог не ставят никаких ограничений для малых и средних мостов и труб под насыпями, подчиняя их расположение требованиям плавности трассы и

допуская их устройство при любых сочетаниях элементов плана и профиля. При косом пересечении лога трубы целесообразно располагать по оси лога под углом к трассе. Если ось водотока и ось долины непараллельны, рекомендуется проектировать спрямление русла, что дает возможность вести все работы по строительству искусственного сооружения в котловане, вырытом на сухом месте.

Чем выше категория дороги, тем более оправдан отказ от изменения трассы дороги ради перпендикулярного пересечения водотока. Поэтому на современных автомобильных дорогах высшей категории для обеспечения плавности трассы в холмистой и горной местностях широкое применение находят большие мосты на кривых в плане и продольном профиле (рис. 6.6), несмотря на неизбежное осложнение конструкции этих сооружений и процесса строительства. Высокая стоимость современных автомобильных дорог и большие потери автомобильного транспорта от перепробегов и снижения скорости при неудобных въездах заставили рассматривать мосты, даже сравнительно больших пролетов, как элементы дороги, которые не должны выделяться из ее общего направления и вносить какие-либо изменения в режимы движения транспортного потока.

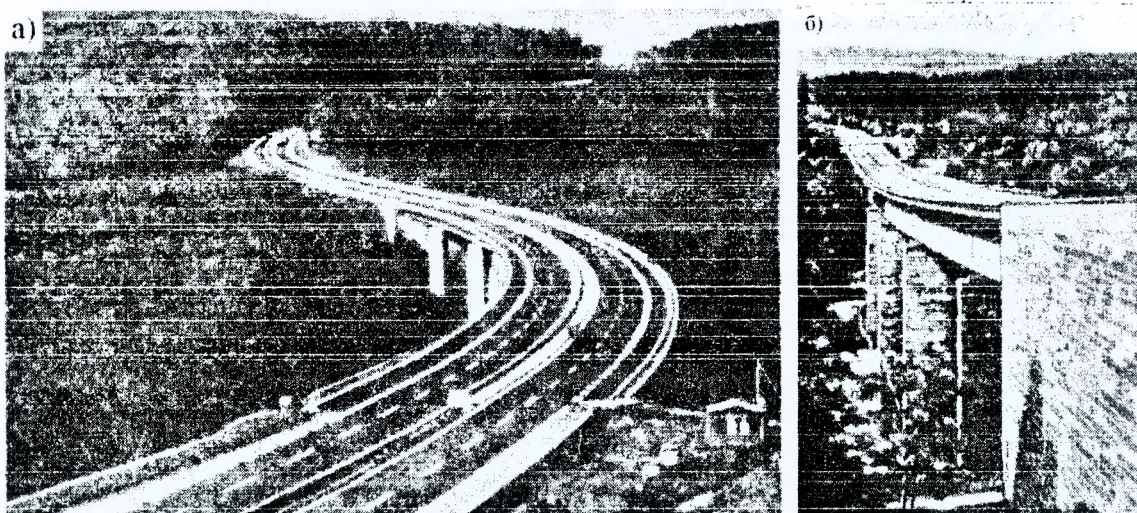


Рис. 6.6. Мосты на кривых: а – мост на кривой в плане; б – мост на вертикальной кривой

Конструкции мостов, строящихся на кривых, должны удовлетворять всем требованиям к плану и поперечному профилю криволинейных участков дороги в отношении устройства виражей, уширений, введения переходных кривых и т.п.

При пересечении больших водотоков строительство косого моста значительно увеличивает стоимость мостового перехода и сопряжена с необходимостью устройства регулиционных сооружений. Стоимость 1 м моста через большую реку во много раз больше стоимости 1 м дороги. Большой мост как капитальное инженерное сооружение необходимо строить на участке реки, наиболее удобном для пропуска высоких вод. Это обеспечивает устойчивость и неразмываемость русла и позволяет удовлетворить требования судоходства.

Удобство перехода с большим мостом, с точки зрения требований автомобильного движения, обеспечивается главным образом устройством плавных в плане и продольном профиле проходов к мосту.

Исходя из вышесказанного, можно выделить **основные принципы расположения мостов и труб** на автомобильных дорогах:

- 1) необходимо, чтобы при обеспечении беспрепятственного пропуска высоких вод, соблюдении требований экономичности строительства и удобства движения автомобилей не нарушалась плавность трассы;
- 2) наиболее экономичным и целесообразным в отношении пропуска воды является перпендикулярное пересечение дорогой водотоков;
- 3) малые (<25м) и средние (25-100м) мосты и трубы под насыпями устраиваются практически при любых сочетаниях элементов плана и профиля;
- 4) при косом пересечении лога трубы располагаются по оси лога под углом к трассе;
- 5) чем выше категория дороги, тем более оправдан отказ от изменения трассы дороги ради перпендикулярного пересечения водотока;

б) большой мост (> 100 м) необходимо строить на участке реки, наиболее удобном для пропуска высоких вод.

Выбор места перехода через большие водотоки обычно связан с неизбежным отклонением от воздушной линии и поэтому место мостового перехода через большие реки следует рассматривать как контрольную точку трассы.

6.5. Преодоление подъемов и развитие линии на склонах

При преодолении речных долин через невысокие гряды холмов встречаются участки, уклоны которых превышают предельно допустимые по техническим условиям. В таких местах возможны два способа проложения трассы (рис. 6.7).

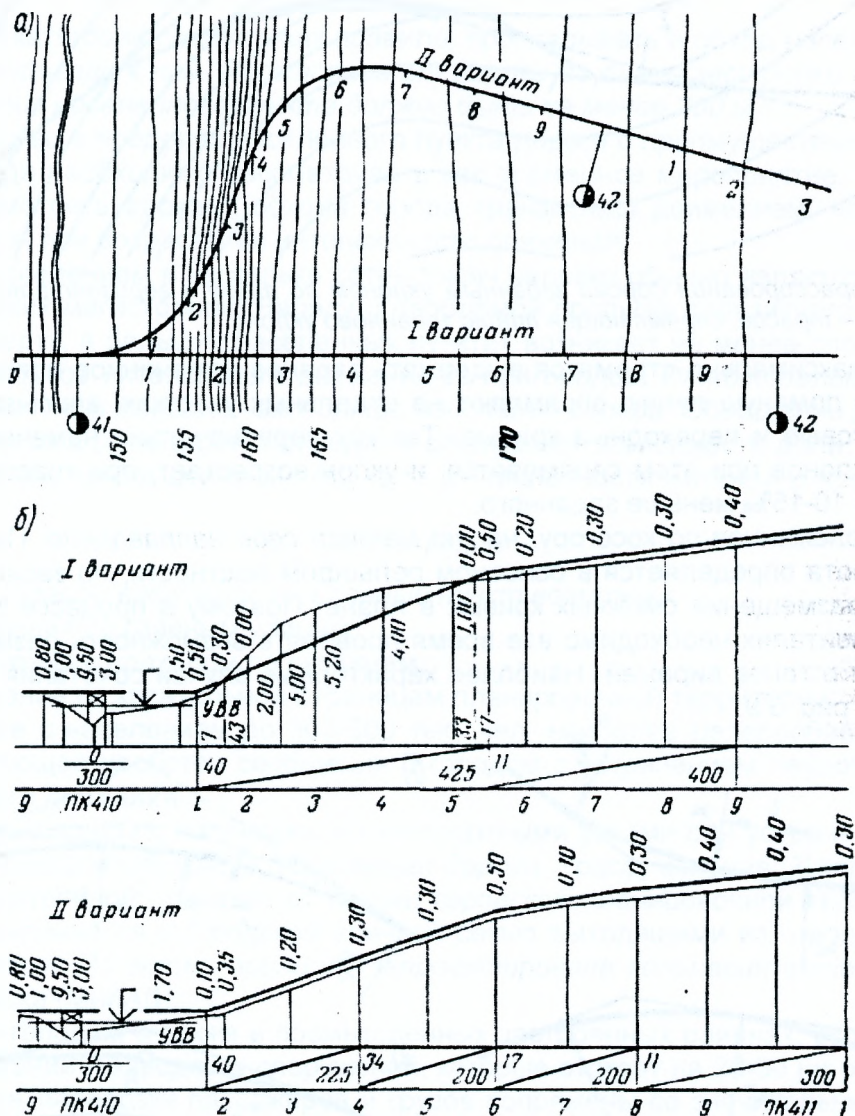


Рис. 6.7. Варианты проложения трассы по косогору: а – план; б – продольные профили

Первый заключается в прямом подъеме по косогору с предельным уклоном с устройством высокой насыпи внизу и глубокой выемки наверху. Применяется для дорог высоких категорий (I-III) с целью сокращения трассы, а ко второму варианту прибегают только там, где глубина выемки или высота насыпи становится недопустимой по техническим соображениям. **Второй** – с отклонением от воздушной линии в сторону и проходом по косогору с тем же уклоном, но при малых объемах земляных работ. Предпочтителен для дорог низших категорий (IV-V) с одеждами переходных типов и малой интенсивностью движения.

Необходимая длина трассы на косогорном участке $L = H / i_{доп}$, где H – преодолеваемая разность отметок, м; $i_{доп}$ – допускаемый продольный уклон, выраженный в десятичных долях.

Точное место проложения трассы на плане в горизонталях определяют последовательными засечками циркулем расстояний между смежными горизонталями, соответствующих продольному уклону, принятому при трассировании. При сечении горизонталей через h (в метрах) и принятом продольном уклоне i (в тысячных) расстояние между смежными горизонталями должно составлять $l = h/i$ (в метрах). Положение линии заданного уклона находят, последовательно откладывая циркулем отрезки l между горизонталями (рис. 6.8).

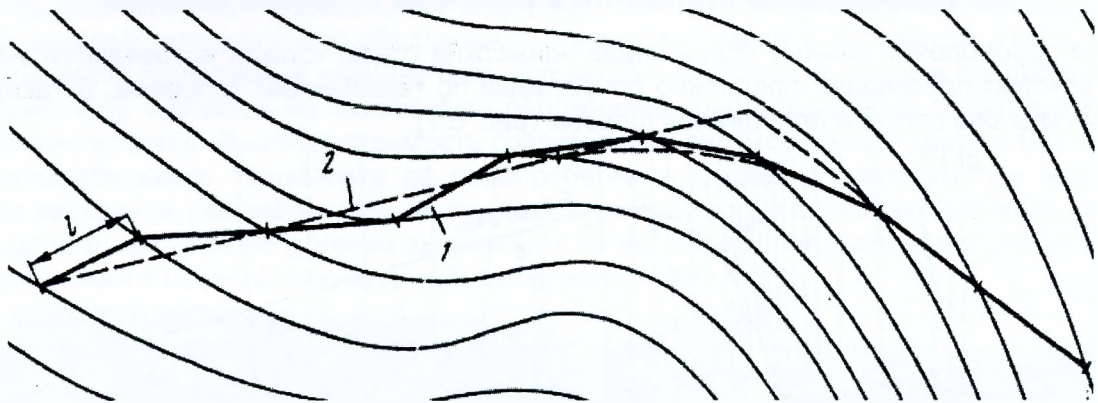


Рис. 6.8. Прием трассирования дороги заданным уклоном по плану в горизонталях: 1 – линия заданного уклона; 2 – трасса, спрямляющая линию заданного уклона

При этом максимально стремятся выдержать заранее намеченное направление трассы. Получаемую ломаную линию спрямляют на отдельных участках, вписывая в образующие углы круговые и переходные кривые. Так как первоначально намеченная ломаная линия равных уклонов при этом спрямляется, и уклон возрастает, при трассировании принимают уклон на 10-15% меньше заданного.

Трасса, проложенная по косоугору, часто меняет свое направление. Положение вершин углов поворота определяется в основном рельефом местности, но зависит также и от необходимости размещения смежных кривых в плане. Поэтому в процессе трассирования по плану в горизонталях необходимо все время проверять возможность размещения переходных кривых и отгонов виражей. Наиболее характерные случаи сочетания смежных кривых показаны на рис. 6.9.

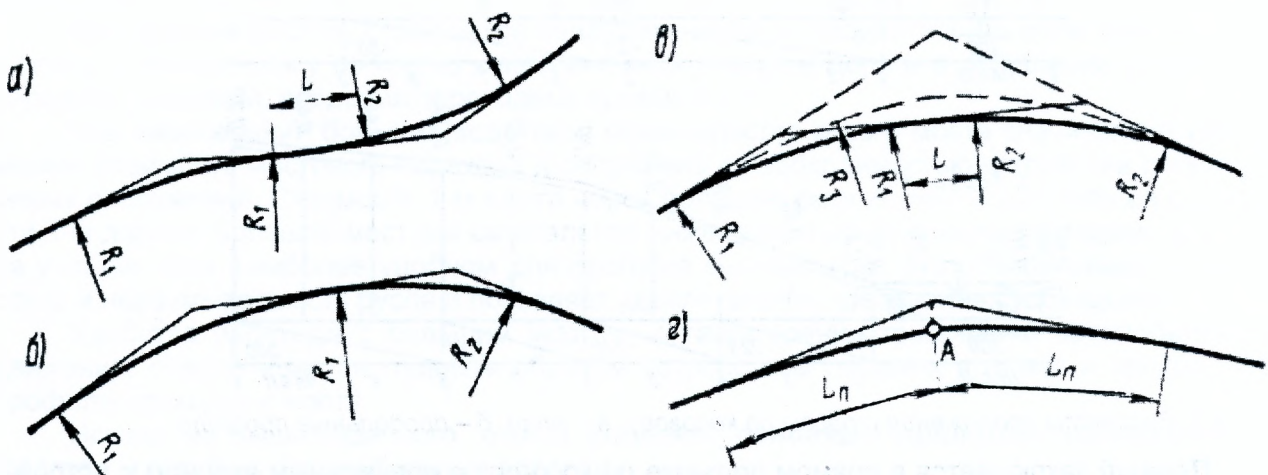


Рис. 6.9. Расположение смежных кривых: а – обратные кривые; б – непосредственное сопряжение односторонних круговых кривых при одинаковых уклонах виража; в – односторонние кривые при разных уклонах виражей (пунктиром показано решение с заменой двух углов поворота одним); г – замена круговой кривой малого радиуса непосредственно сопрягающимися в точке А переходными кривыми

6.6. Проложение трассы дороги вблизи населенных пунктов

Обслуживание автомобильными дорогами как местных, так и транзитных перевозок вызывает необходимость связи этих дорог с промежуточными населенными пунктами. При

этом возникают задачи пропуска транзитного движения и обеспечения удобной связи дороги с разными районами города.

Вопрос о проложении трассы дорог I-III категорий вблизи населенных пунктов всегда лучше решать в пользу обхода с устройством подъездного пути. Пропуск транзитного движения через населенный пункт затрудняет местное уличное движение. Дорога с интенсивным движением разрезает населенный пункт на изолированные части, затрудняя его хозяйственную жизнь. Возрастает опасность дорожно-транспортных происшествий с пешеходами, усиливается уличный шум и увеличивается загрязнение воздуха отработавшими газами автомобильных двигателей. Скорость автомобилей, следующих транзитом, в пределах населенного пункта значительно снижается; содержание дороги, особенно снегоочистка, затрудняется.

Дороги I-III категории следует, как правило, прокладывать в обход населенных пунктов с устройством подъезда к ним. *Расстояние от дороги до линии застройки по генеральному плану развития населенного пункта должно быть не менее 200 м.*

Строительство в пределах населенного пункта дороги с преимущественно транзитным движением всегда необходимо рассматривать как временное мероприятие. Одновременно следует предусмотреть вариант обхода города транзитным движением, который должен быть осуществлен при возрастании интенсивности движения.

Города с населением в несколько сотен тысяч человек обычно являются узлами пересечения нескольких магистралей. Наряду с проблемой пропуска транзитного движения, минующая городскую черту, в больших населенных пунктах возникает не менее сложный вопрос о вводе в город потоков интенсивного движения из пригородов. *Относительная роль транзитного движения тем меньше, чем больше население города.* Обобщение данных наблюдений, проведенных в ряде стран, приводит к следующей зависимости доли транзитных автомобилей в общем потоке движения N_{mp} (в % от численности жителей в населенных пунктах W)

$$N_{mp} = 115 - 18 \lg W. \quad (6.4)$$

При вводе трассы в крупный населенный пункт возможны:

- 1) пересечения по главным улицам;
- 2) пересечения с проходом по окраинам;
- 3) примыкание по касательной к границам планировочной территории.

Для городов с населением до 300-500 тыс. чел. наиболее целесообразно последнее решение, сочетающее удобство сообщения с городом с устранением неудобств для жителей от транзитного движения.

В населенных пунктах, являющихся транспортными узлами для устранения транзитного движения устраивают *обходные (кольцевые) дороги*. Трассу кольцевой дороги прокладывают в непосредственной близости от границ городской планировочной территории. Кольцевая дорога соединяется с городской уличной сетью выходящими из города автомобильными магистралями. *По этому принципу запроектирована кольцевая автомобильная дорога вокруг Минска (МнКАД).*

В больших городах, а также в промышленных застроенных районах, включающих комплексы жилых зданий и заводских сооружений, которые отстоят на 20-30 км от центральных кварталов города, перевозки пассажиров и грузов сопряжены со значительными затратами времени. Для улучшения связи центральных районов с окраинами в ряде городов США и Японии построены *магистральные городские дороги (скоростные вводы)*, на которых транспортные потоки, поступающие с примыкающих к городу автомобильных магистралей, а также следующие из одного района в другой или из окраин к центру, изолируют от местного внутригородского движения. На них возможно безостановочное движение со скоростями более 80 км/ч. Эти городские автомобильные магистрали прокладывают по эстакадам над улицами и вдоль рек, в выемках, тоннелях и по осушенным руслам рек (рис. 6.10). Стоимость их очень высока, а строительство связано со сносом значительного количества строений и созданием сложных инженерных сооружений для развязки движения в разных уровнях.

Генеральный план развития Минска предусматривает создание системы городских дорог большой пропускной способности, входящих в единую систему городских улиц и транспортных магистралей.

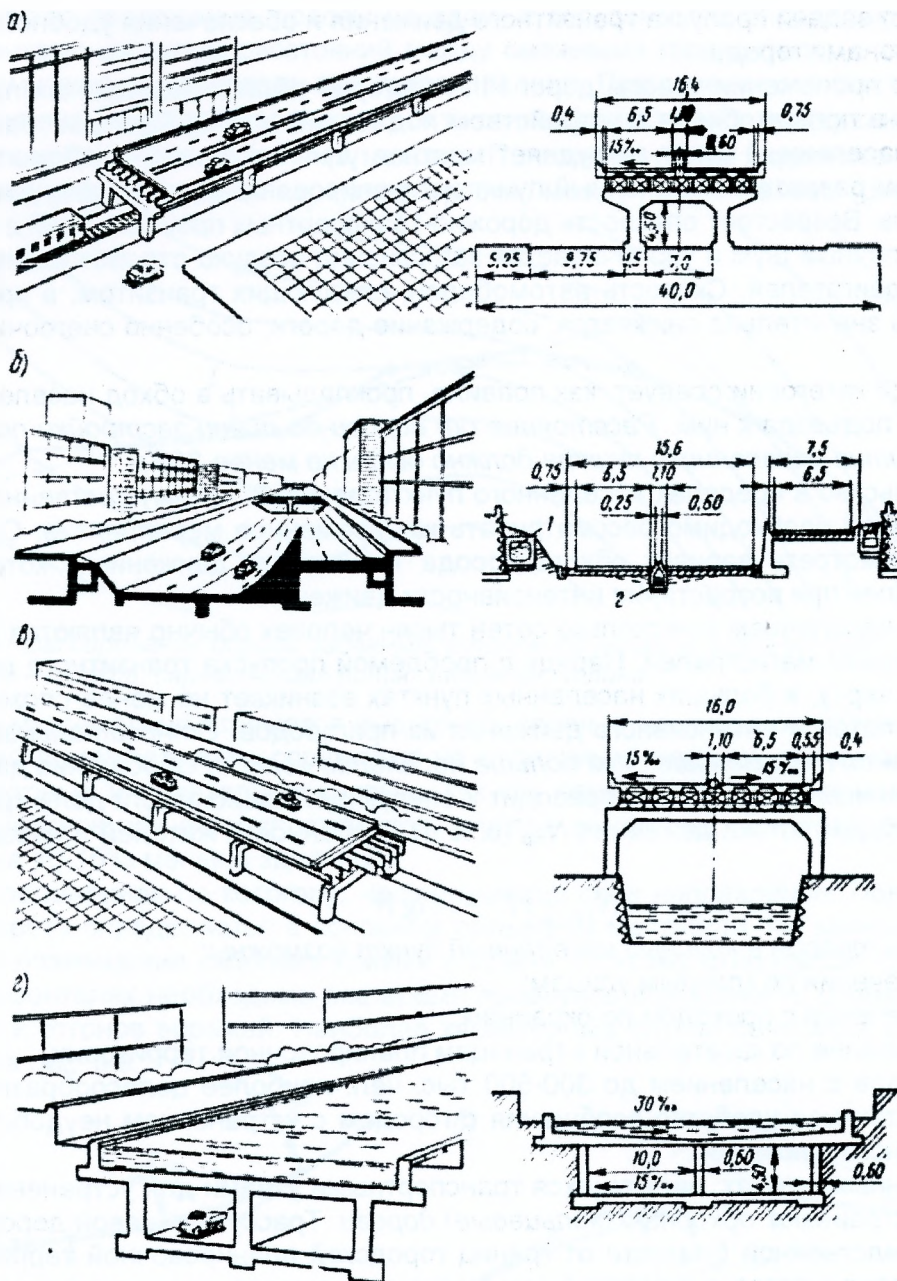


Рис. 6.10. Конструктивные решения скоростных городских дорог: а – эстакада над улицей; б – дорога по осушенному руслу реки; в – эстакада над рекой; г – тоннель под рекой; 1 – коллектор для пропуска речного паводка; 2 – водосток

6.7. Обеспечение пространственной плавности трассы. Основы ландшафтного проектирования

Движение автомобилей с постоянной или практически не меняющейся скоростью на всей протяженности дороги может быть обеспечено только при проложении трассы дороги как плавной пространственной линии с учетом особенностей зрительного восприятия дороги водителями.

На основании анализа зрительной плавности построенных дорог выработаны следующие рекомендации по сочетанию элементов трассы:

- 1) количество переломов в плане и профиле должно быть по возможности одинаковым;
- 2) длины прямых и кривых участков дороги в плане должны соответствовать друг другу;
- 3) прямые участки должны иметь ограниченную длину;
- 4) недопустимы короткие прямые вставки между направленными в одну сторону кривыми, которые воспринимаются как неприятный для взгляда излом дороги. Радиусы смежных кривых должны различаться не более чем в 1,5 раза;

- 5) следует по возможности совмещать вертикальные и горизонтальные кривые. Желательно, чтобы длина горизонтальной кривой несколько превышала длину вертикальной кривой. Смещения вершин совпадающих вертикальных и горизонтальных кривых допустимы не более чем на $1/4$ длины наименьшей из кривых. Радиус вогнутых вертикальных кривых должен не менее чем в 6 раз превышать радиус совпадающих с ними кривых в плане;
- 6) недопустимы сопряжения концов кривых в плане с началом выпуклых или вогнутых вертикальных кривых, расположенных на последующих прямых участках;
- 7) для обеспечения на дороге видимости на большом расстоянии следует избегать сочетаний элементов трассы, образующих в продольном профиле «провал». К числу таких сочетаний относятся: короткие вогнутые участки продольного профиля, расположенные в пределах длинных прямых или кривых в плане большого радиуса, воспринимаемые как карманы или просадки; выпуклые вертикальные кривые малых радиусов на прямых участках, в частности на пересечениях дорог в разных уровнях; прямые участки, как бы упирающиеся в небосвод на вершине выпуклых кривых малого радиуса («дорога в никуда»).

Пространственную плавность трассы часто проверяют построением перспективных изображений, используя для этого методы начертательной геометрии. Затем вносят при необходимости исправления в план и профиль для достижения их плавности. В настоящее время для этой цели используют ЭВМ, в которые вводят координаты плана, продольного и поперечного профилей трассы. Плавность трассы анализируют по изображению перспективы дороги на экране монитора.

Для обеспечения пространственной плавности трассы большое значение имеет соблюдение **принципов зрительного ориентирования водителей** – такое взаимное сочетание элементов дороги и придорожной полосы, которое делает для водителя понятным направление дороги за пределами фактической видимости.

Из средств зрительного ориентирования наиболее эффективными являются:

- 1) сопряжения плана и профиля;
- 2) придорожные насаждения;
- 3) специально устанавливаемые по краям обочин сигнальные столбики.

На рис. 6.11 показано, как увеличение радиуса кривой в плане делает для водителя понятным изменение направления дороги за переломом продольного профиля.

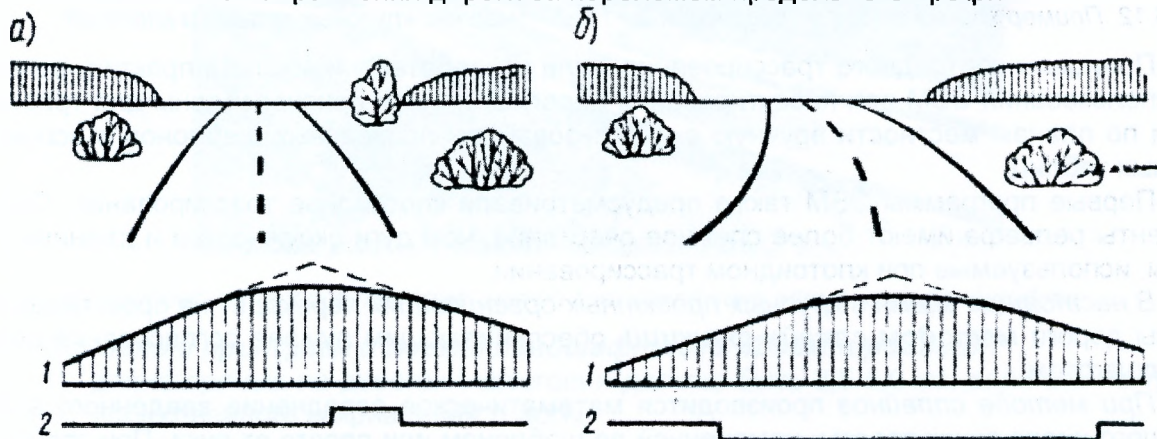


Рис. 6.11. Улучшение ориентирования водителя в дорожных условиях: а – вид дороги, построенной без учета принципов зрительного ориентирования; б – обозначение поворота увеличением длины кривой, начинающейся за переломом продольного профиля; 1 – продольный профиль; 2 – план

Наибольшая плавность трассы достигается при проложении ее в виде кривых непрерывно изменяющейся кривизны, гармонично вписанных в ландшафт. Наиболее часто применяют **клотоидные трассы**, состоящие в основном из сопрягающихся круговых кривых и переходных кривых больших параметров. Прямые вставки невелики, а иногда вообще отсутствуют (рис. 6.12). Вместо ходов по прямым, между углами поворота и последующего вписывания между ними круговых кривых по горизонталям местности, проектируют круговые кривые больших радиусов и сопрягают их переходными кривыми.

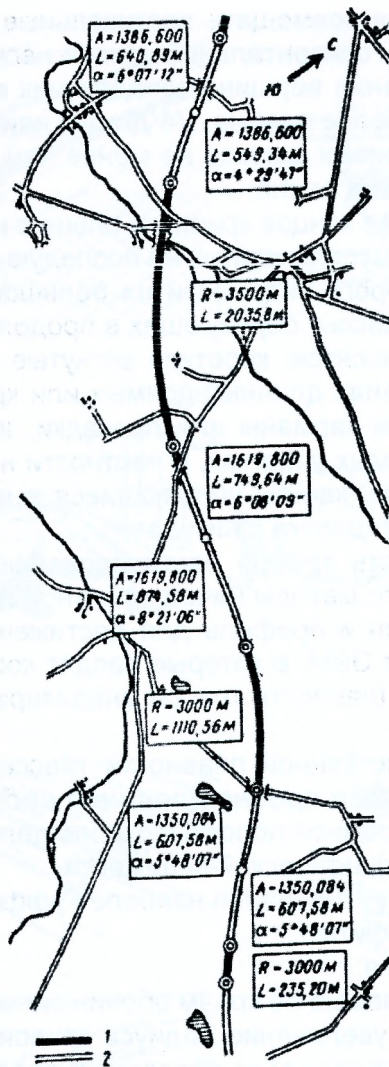


Рис. 6.12. Пример клотоидного трассирования: 1 и 2 – участки круговых кривых и клотоид

Принципы клотоидного трассирования были разработаны и вошли в практику до начала использования ЭВМ при проектировании дорог. Они были приспособлены для трассирования по планам местности вручную с использованием прозрачных шаблонов и вспомогательных таблиц.

Первые программы ЭВМ также предусматривали клотоидное трассирование. Однако элементы рельефа имеют более сложное очертание, чем дуги окружностей и длинные клотоиды, используемые при клотоидном трассировании.

В настоящее время в крупных проектных организациях переходят на проектирование трассы дороги **методом сплайн-функций**, обеспечивающим лучшее согласование дороги с ландшафтом.

При **методе сплайнов** производится математическое осреднение введенного в ЭВМ большого числа точек трассы, намеченной по шаблонам или просто от руки. При этом одни контрольные точки фиксируются точно, около других могут быть заданы возможные зоны смещения. Компьютер подбирает окончательное положение трассы исходя из требований минимальной суммы квадратов отклонений проектируемой трассы от первоначально намеченных точек ее прохождения.

К трассе предъявляются дополнительные критерии оптимизации, например скорость нарастания центробежного ускорения и др.

Современная автомобильная дорога – капитальное сооружение, рассчитанное на многие годы, которым ежедневно пользуются тысячи людей. Поэтому к дорогам, как ко всем сооружениям массового пользования, должны предъявляться высокие эстетические требования в отношении их внешнего оформления, выполняемого в увязке с окружающим природным ландшафтом и архитектурой сооружений, расположенных вдоль дороги.

Это достигается в первую очередь согласованием трассы дороги с рельефом окружающей местности и формами ландшафта. Плавное включение дороги в окружающую местность повышает удобство движения, помогает лучше раскрыть перед едущими красоту природы, а также устранить вызванные проложением дороги нарушения закономерностей природного ландшафта. Такие дороги наиболее безопасны для движения, не утомительны для водителей и пассажиров и поэтому имеют лучшие транспортно-эксплуатационные показатели.

Согласование дороги с ландшафтом (*ландшафтное проектирование*) должно основываться на соответствии элементов дороги элементам ландшафта (рельефу, водным пространствам, лесным массивам, сельскохозяйственным угодьям, населенным пунктам, ранее построенным инженерным сооружениям и т. д.) и проложении трассы с учетом закономерностей их сочетания.

Дорога хорошо сочетается с ландшафтом, если она проложена по граничной зоне его элементов (у подножья холмов, по опушкам лесов, по террасам речных долин) или вдоль естественной (обычно искривленной) оси ландшафта, например водотока, идущего по долине, без резких нарушений сложившихся форм логически неоправданными пересечениями (рис. 6.13). При этом необходимо ориентироваться на имеющиеся в каждом ландшафте основные характеризующие его элементы. Дорога должна следовать крупным определяющим линиям ландшафта, не считаясь с множеством малых и мельчайших складок местности, пересечения которых могут быть сглажены устройством пологих откосов земляного полотна.

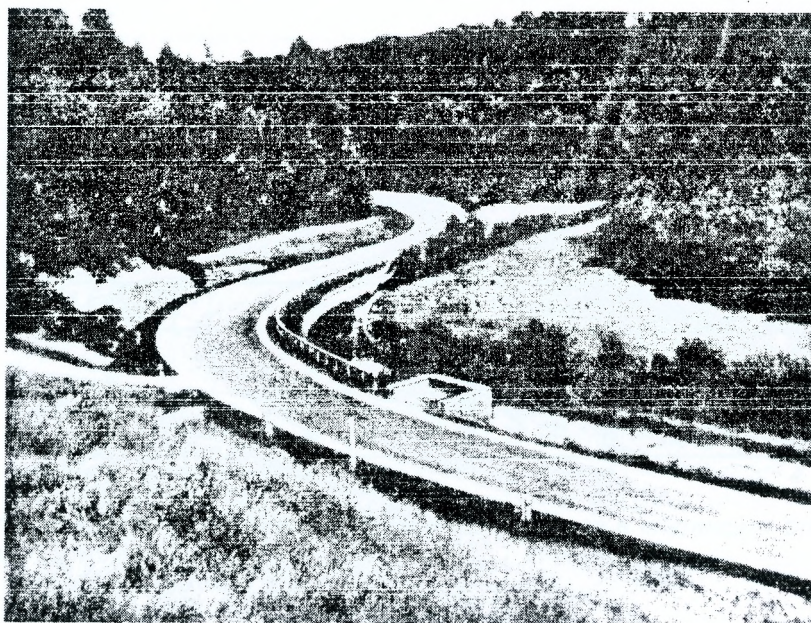


Рис. 6.13. Клотоидная трасса, проложенная по граничной зоне элементов ландшафта

Основные принципы и нормы ландшафтного проектирования:

- 1) длина прямых на дорогах I категории должна быть 3,5-5,0 км, если это не требует искусственного искривления трассы;
- 2) при отсутствии на местности естественных ориентиров их можно создавать искусственно в виде групп деревьев на придорожной полосе;
- 3) перед входом в лес следует сажать постепенно сгущающиеся группы деревьев, чтобы уменьшить внезапную ветровую нагрузку на автомобиль, выезжающий из леса;
- 4) при пересечении лесных массивов на прямых участках некрасивы как строго симметричное разрезание леса, так и отделение от леса узкой полосой;
- 5) целесообразно проложение трассы в виде плавной извилистой линии, вписанной в рельеф и расположенной в переходной зоне между крупными элементами ландшафта;
- 6) чем выше категория дороги и шире земляное полотно, тем с более крупными элементами рельефа должна увязываться дорога;

- 7) согласование с ландшафтом для горных дорог сводится к огибанию элементов горного рельефа с отклонением от них по возможности на меньшее расстояние, необходимое для соблюдения минимальных требований к элементам плана и профиля в трудных условиях рельефа;
- 8) дорога не должна резко выделяться на общем фоне местности. Поэтому при ландшафтном проектировании земляному полотну придают поперечный профиль с округленными очертаниями пологих поперечных откосов. Вместо глубоких канав устраивают широкие мелкие лотки.

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

7.1. Элементы продольного профиля дороги

Продольным профилем дороги называют развернутую в плоскости чертежа проекцию оси дороги на вертикальную плоскость. Продольный профиль характеризует крутизну отдельных участков дороги, измеряемую продольным уклоном, и расположение ее проезжей части относительно поверхности земли. *Продольный уклон* является одной из важнейших характеристик транспортных качеств автомобильной дороги.

Естественные уклоны местности часто превышают допустимые для эффективного использования автомобилей. В таких случаях уклон дороги делают более пологим, чем уклон поверхности земли, срезая часть грунта на подъемах на возвышенность или, наоборот, подсылая его, например, в местах перехода через пониженные участки рельефа.

Места, где поверхность дороги в результате срезки грунта расположена ниже поверхности земли, называют **выемками**, а участки, где дорога проходит выше поверхности земли, по искусственно насыпанному грунту, – **насыпями**. При высоте насыпей менее 1 м говорят, что дорога проходит в «нулевых» отметках. Из-за устройства насыпей и выемок отметки дороги не совпадают с отметками поверхности земли (рис. 7.1). Разница между отметкой поверхности земли по оси дороги и отметкой бровки дороги, определяющая высоту насыпи или глубину выемки, называется **рабочей отметкой** (рис. 7.2).

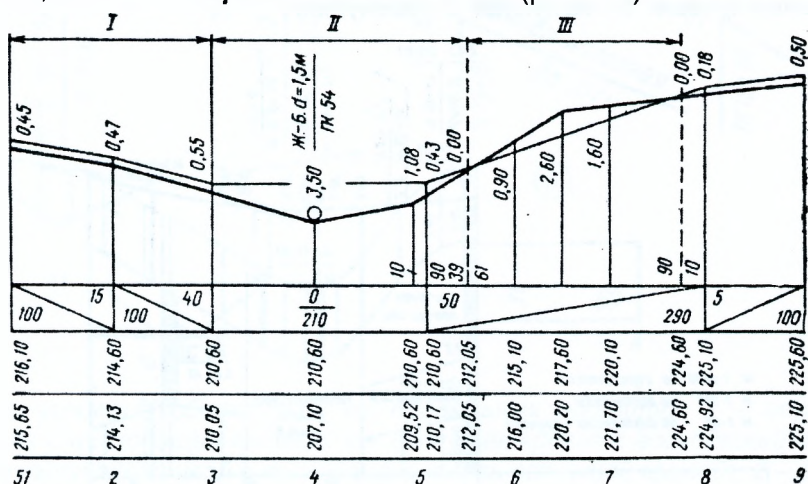


Рис. 7.1. Расположение дороги в продольном профиле: I – дорога в «нулевых» отметках; II – в насыпи; III – в выемке

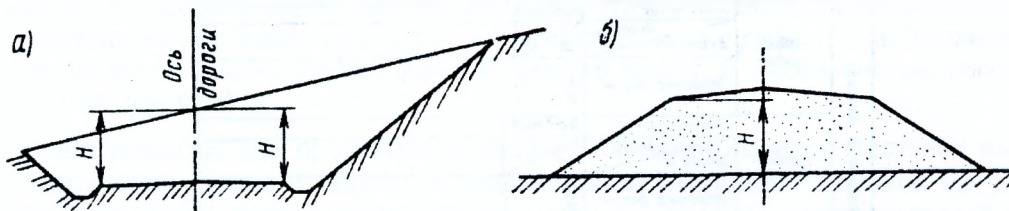


Рис. 7.2. Рабочая отметка земляного полотна: а – в выемке; б – в насыпи

Переломы продольного профиля, образующиеся при изменении уклона, вызывают ряд неудобств для движения:

- 1) выпуклые места на дороге ограничивают видимость расположенного впереди участка дороги;
- 2) на переломах, имеющих сравнительно малый радиус кривизны, при высоких скоростях движения возникает опасность потери управляемости автомобилем в связи с разгрузкой передней оси;
- 3) на вогнутых переломах из-за внезапного изменения направления движения возникает толчок, неприятный для пассажиров и перегружающий подвеску автомобиля.

Поэтому переломы продольного профиля смягчают введением сопрягающих вертикальных кривых (рис. 7.3). На рис. 7.3 пунктиром показаны смягчаемые переломы продольного профиля. Цифры в скобках характеризуют рабочие отметки, которые были бы при отсутствии вертикальных кривых, цифры без скобок – фактические отметки. Графическое изображение продольного профиля является одним из основных проектных документов, на основе которых строится дорога. Образец оформления продольного профиля показан на рис. 7.4.

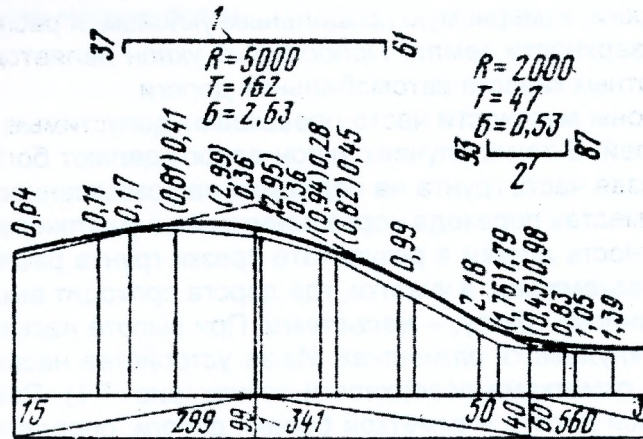


Рис. 7.3. Вертикальные кривые: 1 – выпуклая; 2 – вогнутая

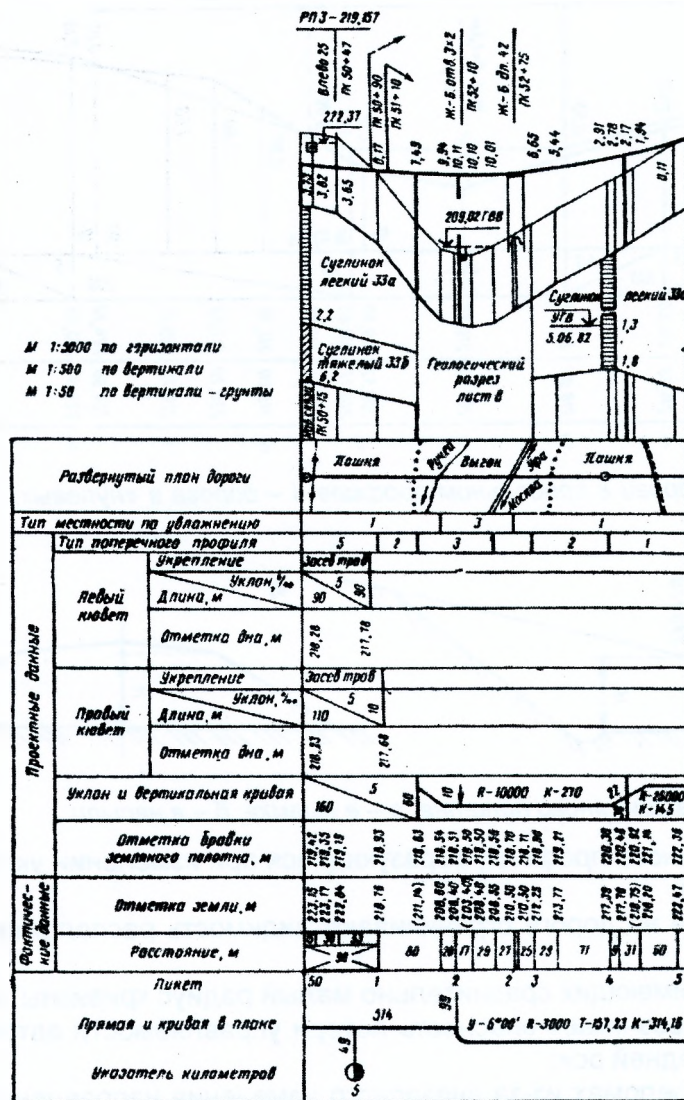


Рисунок 7.4. Продольный профиль автомобильной дороги (образец оформления)

Для наглядности продольного профиля вертикальные расстояния (отметки) откладывают в большем масштабе, чем горизонтальные. Для дорог, проходящих в равнинной местности, принят вертикальный масштаб 1:500 (5 м в 1 см) и горизонтальный масштаб 1:5000 (50 м в 1 см).

При вычерчивании продольного профиля применяют условные обозначения, показанные на рис. 7.5.

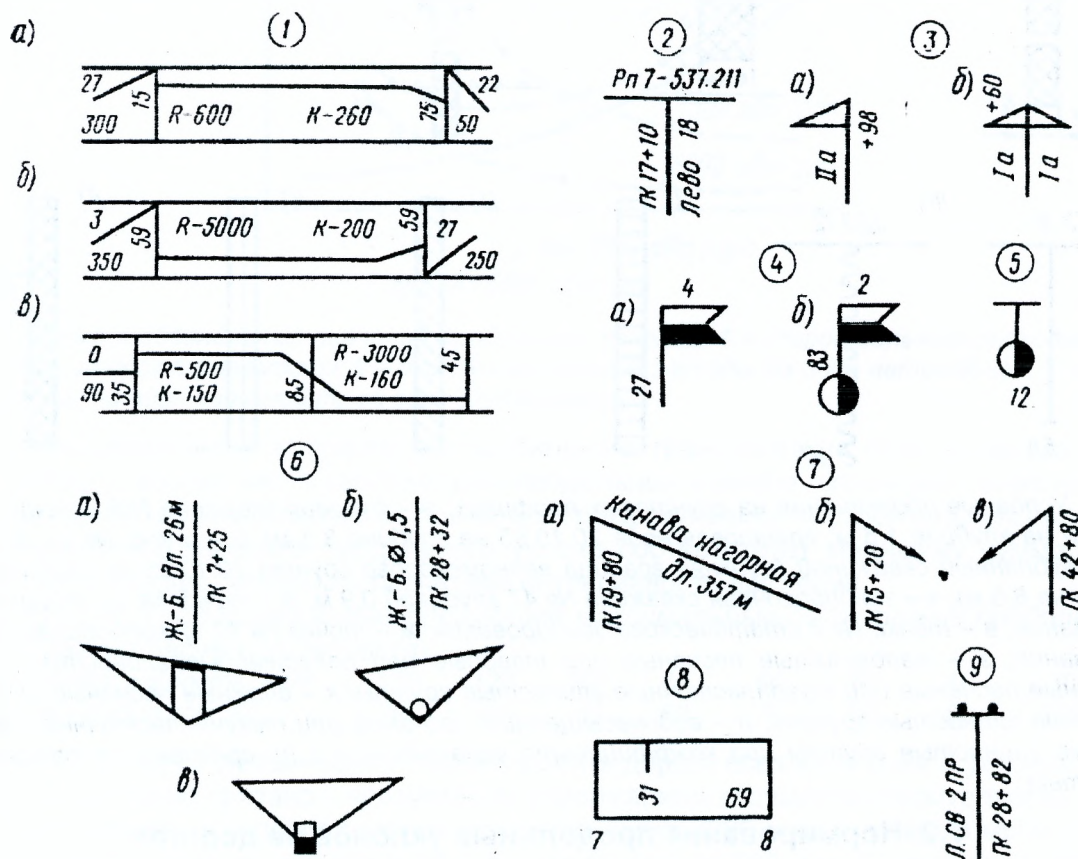


Рис 7.5. Основные условные обозначения на продольных профилях: 1 – вертикальные кривые (а – выпуклая кривая с нисходящей ветвью; в – вогнутая кривая с восходящей ветвью; в – переход нисходящей ветви выпуклой кривой в восходящую ветвь вогнутой кривой); 2 – репер 7 с отметкой 537,211; 3 – съезды с дороги (а – влево по типовому проекту IIa в 98 м от начала пикета; б – пересечение с другой дорогой в 60 м от начала пикета); 4 – железнодорожные переезды (а – неохраняемый, в 27 м от начала пикета; б – охраняемый переезд: цифры над флажками указывают категорию переезда); 5 – километровый знак; 6 – мосты и трубы (а – железобетонный мост или путепровод; б – круглая труба диаметром 1,5 м; в – прямоугольная труба); 7 – водоотводные канавы (а – нагорная канава; б – сброс воды вправо; в – то же влево); 8 – обозначение плюсовых точек; 9 – двухпроводная линия связи

На горных дорогах, где продольный профиль характеризуется частыми изменениями уклонов поверхности земли и дороги и значительной разностью отметок на участках небольшой протяженности, принимаются более крупные масштабы: вертикальный 1:200, горизонтальный 1:2000.

Тонкую линию на продольном профиле, соединяющую отметки поверхности земли, называют линией поверхности земли, или **черной линией**. Линию, соответствующую отметкам бровки дороги, называют **проектной**. Она изображается на продольном профиле в 2 раза большей толщины, чем линия поверхности земли.

На продольном профиле ниже линии поверхности земли на 2 см и параллельно ей наносят грунтовый профиль в вертикальном масштабе 1:50 (50 см в 1 см), на котором выписывают наименования грунтов, а в шурфах и буровых скважинах при помощи условных обозначений показывают влажность и консистенцию грунтов (рис. 7.6).

Торфы и сапропели изображают на профиле на всем участке их залегания и на всю выявленную глубину условными обозначениями.

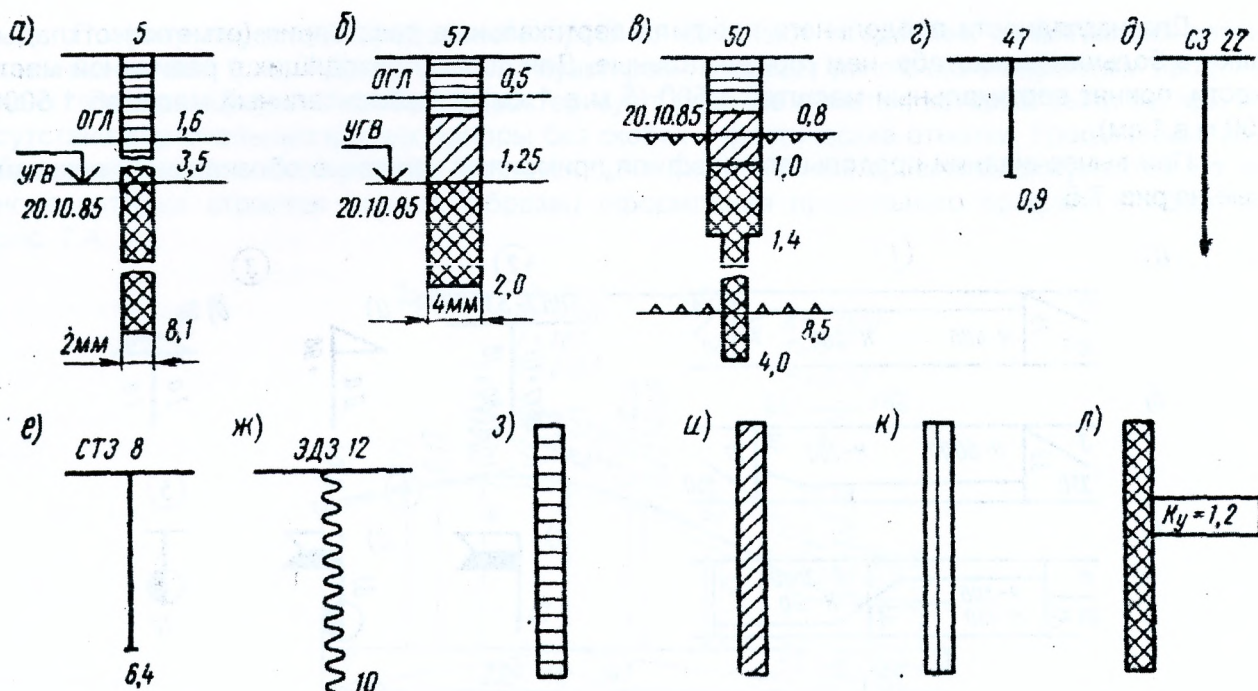


Рис. 7.6. Условные обозначения на грунтовых профилях: а – буровая скважина №5 глубиной 8,1 м (оглеение на глубине 1,6 м, грунтовая вода 20.10.85 на глубине 3,5 м); б – шурф № 57; в – шурф № 50, углубленный скважиной (верхняя граница вечномерзлого грунта 20.10.85 на глубине 0,8 м, нижняя – на 8,5 м); г – зондировочная скважина № 47 глубиной 0,9 м; д – точка № 22 сейсмического зондирования; е – точка № 8 статического зондирования; ж – точка № 12 электродинамического зондирования; з – маловлажные песчаные или твердые или полутвердые глинистые грунты; и – влажные песчаные или тугопластичные глинистые грунты; к – влажные песчаные или мягкопластичные глинистые грунты; л – водонасыщенные песчаные или текучепластичные и водонасыщенные глинистые грунты при коэффициенте увлажнения 1,2 по сравнению с оптимальной влажностью

7.2. Нормирование продольных уклонов на дорогах

При разработке технических условий на проектирование дорог и нормировании предельных продольных уклонов необходимо учитывать, что поток движения по дорогам состоит из автомобилей разных типов, загруженных в разной степени и имеющих различное техническое состояние. Состав транспортных потоков может меняться в процессе службы дороги. Поэтому возможность нормирования требований к продольным уклонам на дорогах, исходя из конкретных динамических характеристик какого-либо одного типа автомобиля, принятого за расчетный, может возникнуть только в ограниченном числе случаев, например в промышленном транспорте, при открытой разработке полезных ископаемых в карьерах, когда заранее известен типаж используемых автомобилей.

При разработке *технических условий* на проектирование автомобильных дорог общего пользования исходят из *принципа наименьших суммарных затрат* для народного хозяйства, оценивая совокупно влияние уклонов на стоимость строительства дорог и на эксплуатационные показатели автомобильного транспорта – скорость движения, расход топлива и использование грузоподъемности автомобилей.

Подход к нормированию продольных уклонов сводится к следующему.

При преодолении какого-либо участка подъема с разными продольными уклонами на *стоимость строительства* в основном влияют объемы земляных работ, тем большие, чем меньший принимают продольный уклон. Стоимость строительства, отнесенная к одному прошедшему автомобилю за срок, в течение которого должны оправдаться затраты на строительство, будет выражаться в зависимости от значения продольного уклона гиперболическими кривыми (рис. 7.7). Строительные расходы, отнесенные к одному автомобилю, будут тем меньше, чем выше интенсивность движения.

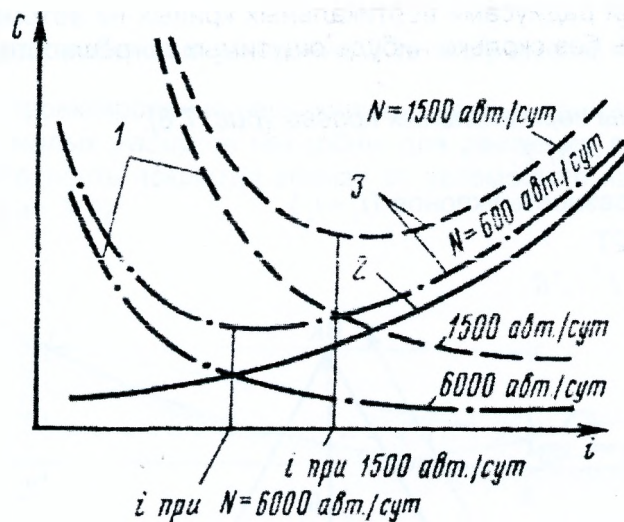


Рис. 7.7. Схема к обоснованию значений продольных уклонов: 1 – строительные расходы на один автомобиль за срок окупаемости; 2 – эксплуатационные расходы на один автомобиль; 3 – суммарные затраты на один автомобиль за срок окупаемости

Эксплуатационные затраты автомобильного транспорта на проезд одного автомобиля, наоборот, возрастают с увеличением продольных уклонов (сплошная линия на графике 7.7), не меняясь в зависимости от принятого срока окупаемости строительных расходов.

Оптимальное значение продольного уклона соответствует минимуму суммарных затрат. Оно тем меньше, чем выше расчетная интенсивность движения.

СНиП 2.05.02-85 установлены следующие *максимальные допустимые продольные уклоны* при разных расчетных скоростях:

расчетная скорость, км/ч	150	120	100	80	60	50	40	30;
продольный уклон, ‰	30	40	50	60	70	80	90	100.

СНиП 2.05.02-85 *рекомендует* проектировать дороги всех категорий с уклонами не более 30‰, если это не связано с чрезмерным удорожанием стоимости строительства.

В особо трудных условиях горной местности ниже 3000 м над уровнем моря разрешается увеличивать продольный уклон на участках длиной до 500 м не более чем на 20 ‰ против приведенных выше норм, если это дает значительное снижение расходов на строительство. Однако применение этого исключения на коротких трудных участках дорог, проходящих на большей части протяженности в относительно благоприятных условиях рельефа, приводит к резкому ухудшению транспортно-эксплуатационных характеристик дороги в целом и к образованию на ней неудобных и опасных для движения участков. Поэтому увеличение продольных уклонов оправдывается лишь в горной местности на участках с особо крутыми склонами, где скорости на всей дороге невелики. Чем больше протяженность подъема, тем сильнее проявляется влияние продольного уклона на условия движения автомобилей.

На основе исследований В.В. Сильянова рекомендуются в равнинной и холмистой местности следующие предельные длины участков с разными уклонами:

продольный уклон, ‰	20	30	40	50	60	70	80	90	100;
длина подъема, м	2000	1200	600	400	300	250	200	150	150.

Нормы максимальных продольных уклонов в Беларуси мало отличаются от норм, принятых в других странах.

7.3. Вертикальные кривые

Вертикальные кривые на автомобильных дорогах описывают по квадратичной параболе с уравнением

$$y = \pm \frac{x^2}{2R}, \quad (7.1)$$

где R – радиус кривизны в начале координат, расположенном в вершине кривой. Знак «+» соответствует выпуклым кривым, знак «-» – вогнутым.

В связи с большими радиусами вертикальных кривых на автомобильных дорогах абсциссу x можно принимать без сколько-нибудь ощутимых погрешностей, равной длине участка кривой l .

Основные элементы вертикальных кривых (рис. 7.8):

1. Тангенс $T = R \cdot (i_1 - i_2) / 2$.
2. Алгебраическая разность уклонов $(i_1 - i_2)$.
3. Длина кривой $K=2T$;
4. Биссектриса $B = T^2 / 2R$.

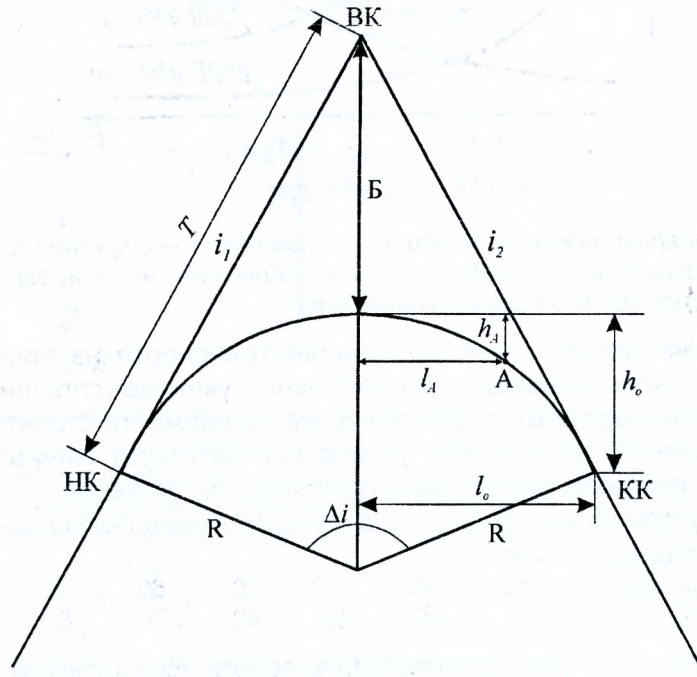
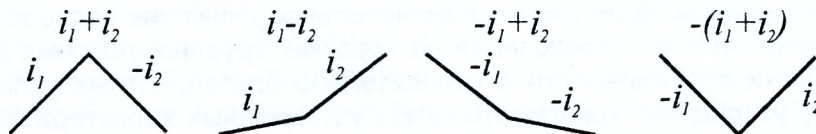


Рис. 7.8. Схема к определению элементов вертикальных кривых на автомобильных дорогах

Существуют следующие схемы переломов проектной линии в продольном профиле:



Переломы проектной линии в продольном профиле при алгебраической разности уклонов 5‰ и более на дорогах I и II категорий, 10‰ и более на дорогах III категории и 20 ‰ и более на дорогах IV и V категорий следует сопрягать вертикальными кривыми.

Расстояние от начала вертикальной кривой до ее вершины $l_0 = R \cdot i$, уклон в некоторой точке на кривой $i = l/R$, превышение между точкой начала кривой и ее вершиной $h_0 = l_0^2 / 2R$ (см. рис. 7.8).

Значение радиуса выпуклых круговых вставок определяют из условия обеспечения расчетной видимости поверхности дороги водителем автомобиля. При необходимых для этого радиусах вертикальных кривых отрицательное влияние на управляемость и устойчивость автомобиля центробежной силы, возникающей при проезде кривой и уменьшающей сцепной вес автомобиля, весьма невелико.

Минимальный радиус выпуклой кривой для случая видимости встречного автомобиля $R = S^2 / 8h_1$, при расчете на видимость поверхности дороги $R = S^2 / 2h_1$, где h_1 – возвышение глаз водителя над поверхностью дороги (1,2 м).

Радиус вогнутых кривых определяют исходя из значения центробежной силы, допустимой по условиям самочувствия пассажира, перегрузки рессор и видимости поверхности дороги ночью на расчетное расстояние видимости.

При допуске центростремительном ускорении b (в м/с^2) имеем $\frac{V^2}{R} = b$, откуда $R = \frac{V^2}{b}$.

При разработке норм на проектирование вертикальных кривых принимают $b=0,5-0,7 \text{ м/с}^2$.

Вогнутые кривые малых радиусов неудобны для движения в ночное время, так как свет фар освещает поверхность покрытия вблизи от автомобиля на расстоянии, меньшем расчетной видимости (рис. 7.9).

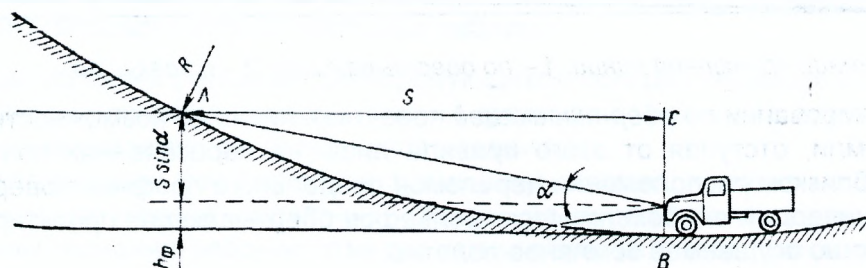


Рис. 7.9 Видимость вогнутой кривой при свете фар: S – расчетное расстояние видимости; h_{ϕ} – фактическое возвышение центра фары над поверхностью дороги

Минимальный радиус вогнутой кривой для случая видимости встречного автомобиля $R = S^2 / 8h_{\phi}$, при расчете на видимость поверхности дороги $R = S^2 / 2h_{\phi}$, где h_{ϕ} – фактическое возвышение центра фары над поверхностью дороги.

СНиП 2.05.02-85 рекомендует, если это возможно по местным условиям и не ведет к удорожанию строительства, применять радиусы вертикальных выпуклых кривых не менее 70000 м (длина кривой более 300 м) и вогнутых кривых – 8000 м (длина кривой не менее 100 м). Минимальные радиусы кривых в продольном профиле приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Минимальные радиусы кривых в продольном профиле

V , км/ч	150	120	100	80	60	50	40	30
$R_{\text{вып.}}$, м	30000	15000	10000	5000	2500	1500	1000	600
$R_{\text{вог.}}$, м	8000	5000	3000	2000	1500	1200	1000	600

7.4. Нанесение проектной линии

При проектировании продольного профиля дороги необходимо предусмотреть продольные уклоны на ней, не превышающие допускаемые, возвышение ее поверхности над источниками увлажнения (грунтовыми водами и местами застоя поверхностных вод), необходимое для создания благоприятного водно-теплового режима грунтового основания, возвышение земляного полотна над уровнем снегового покрова, обеспечивающее незаносимость дороги снегом.

Установление положения поверхности дороги в продольном профиле по отношению к поверхности земли называют **проектированием продольного профиля, или нанесением проектной линии.**

При нанесении проектной линии необходимо обеспечить:

- 1) плавность продольного профиля;
- 2) допустимый продольный уклон;
- 3) достаточную видимость, позволяющую автомобилям развивать высокие скорости;
- 4) отвод воды от земляного полотна;
- 5) отсутствие пилообразности проектной линии, приводящей к «потерянным подъемам» – спускам с последующим подъемом участков, при проезде которых двигатели автомобилей выполняют бесполезную работу;
- 6) прохождение дороги через контрольные точки, имеющие высотные отметки – примыкания к существующим дорогам в начале и конце трассы, пересечения с дорогами более высоких категорий и с железными дорогами, отметки проезжей части мостов, отметки земляного полотна над уровнем высоких вод в затопляемых местах.

Возможны два метода проложения проектной линии: **обертывающая и секущая проектировки** (рис. 7.10).

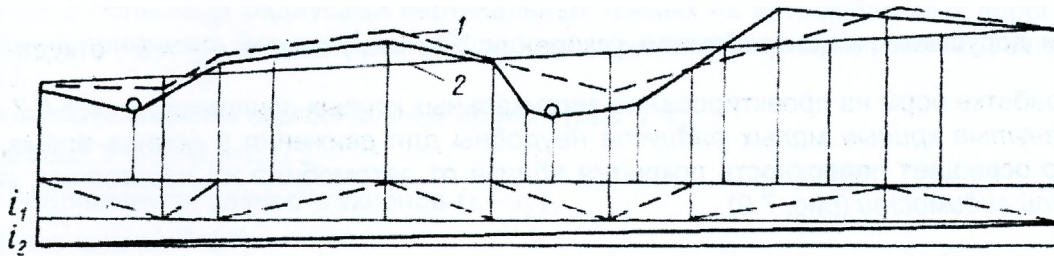


Рис. 7.10. Проложение проектной линии: 1 – по обертывающей; 2 – по секущей

При проектировании по *обертывающей* проектная линия по возможности параллельна поверхности земли, отступая от этого правила лишь на пересечениях пониженных мест рельефа и при близком расположении переломов продольного профиля поверхности земли. В условиях равнинного и слабохолмистого рельефов обертывающая проектировка позволяет получить хорошо осушаемое земляное полотно.

В условиях холмистого, сильно пересеченного рельефа при проектировании проектной линии как обертывающей продольный профиль дороги получается беспокойным (1 и i_1 на рис. 7.10). Движение автомобиля по дороге превращается в непрерывное преодоление подъемов с последующим спуском в долины и сопряжено с перерасходом топлива и снижением скорости перевозок.

В этом случае при интенсивном движении и благоприятных грунтово-геологических условиях более рациональна проектная линия, нанесенная как *секущая* (2 и i_2 на рис. 7.10) со срезкой холмов выемками и использованием грунта из них для отсыпки насыпей в пониженных местах. Положение проектной линии должно по возможности обеспечивать баланс земляных работ в смежных насыпях и выемках, т. е. использование продольного перемещения грунта из выемок для отсыпки насыпей. Такое проложение проектной линии наиболее характерно для железных дорог и автомобильных дорог высоких категорий.

Обертывающая проектировка раньше обычно сочеталась с возведением насыпей из придорожных резервов, что позволяло уменьшить стоимость земляных работ из-за малой дальности перемещения грунта. В настоящее время при ограничении отвода пахотных земель под дороги такой способ, как правило, невозможен, и земляное полотно возводят из грунта, перевозимого на большие расстояния из специально закладываемых на неудобных землях грунтовых карьеров.

7.5. Последовательность проектирования продольного профиля

В общем случае рекомендуется следующая *последовательность проектирования продольного профиля*.

1. Обозначаются контрольные высотные точки и устанавливаются необходимые возвышения низа дорожной одежды на разных участках в зависимости от грунтовых и гидрологических условий.

2. Предварительно намечается положение проектной линии. При проложении проектной линии по секущей следует стремиться к компенсации объемов смежных насыпей и выемок. Так как при равных значениях рабочих отметок поперечное сечение выемки получается большим, чем сечение насыпи, необходимо располагать проектную линию таким образом, чтобы площадь участков выемок на продольном профиле была на 25-30% меньше площади насыпей. Рабочие отметки не должны превышать более чем на 20-30 см минимальные отметки, требуемые по местным грунтовым и гидрологическим условиям.

Намечая положение проектной линии, следует избегать частых ее переломов, соответствующих микрорельефу местности и не следует искусственно вводить длинные участки с постоянным уклоном, для устройства которых потребовалось бы выполнение излишних земляных работ.

3. Для окончательного нанесения проектной линии в настоящее время наибольшее распространение получил метод проектирования продольного профиля *вертикальными кривыми*, сопрягающимися непосредственно друг с другом или при помощи прямых вставок ручным расчетом, или на ЭВМ – *аналитический*, или с помощью шаблонов – *графоаналитический*. Реже используют метод нанесения проектной линии сопрягающимися прямыми

участками проектной линии с последующим вписыванием в их переломы вертикальных кривых и вычислением поправок к рабочим отметкам, найденным по тангенсам – *метод тангенсов*;

4. *Второй этап* проектирования заключается в точной взаимной увязке концов элементов проектной линии – определении координат вершин всех вертикальных кривых, точек сопряжения смежных криволинейных и прямолинейных участков, уклонов, прямых, сопрягающих вертикальные кривые, и др. Расчеты ведут последовательно переходя от одного элемента к другому, используя вспомогательные таблицы.

В сложных условиях рельефа при чередующихся больших выемках и насыпях для нахождения лучшего положения проектной линии сравнивают несколько вариантов проектной линии из нескольких взаимно сопрягающихся элементов.

При проектировании без шаблонов прямыми участками, наметив начерно положение проектной линии, вычисляют проектные отметки на переломах продольного профиля и уточняют уклоны, изменяя рабочие отметки таким образом, чтобы уклон проектной линии выражался в целых тысячных. Увязав уклоны и отметки на переломах проектной линии, определяют промежуточные проектные и рабочие отметки и вписывают вертикальные кривые. Если получающиеся рабочие отметки неудачны и, например, в промежуточных точках не соблюдается необходимое возвышение низа дорожной одежды над уровнем источников увлажнения или дорога на значительной протяженности проходит в мелкой выемке, изменяют продольный уклон и начальные рабочие отметки.

В процессе нанесения проектной линии приходится решать следующие **частные задачи**.

1) Определение места выхода на поверхность проектной линии, имеющей заданный продольный уклон i (рис. 7.11а).

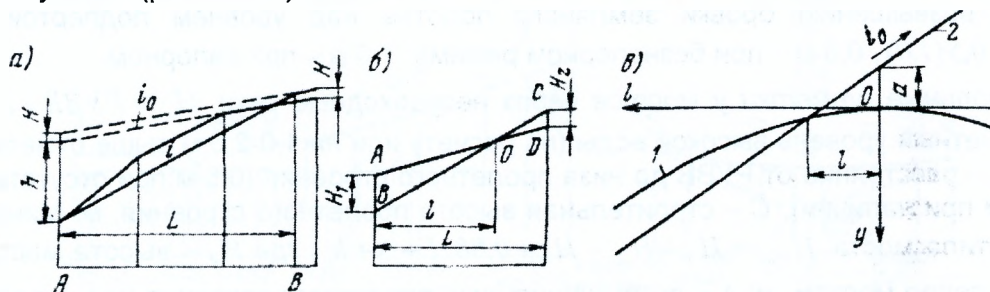


Рис. 7.11. Задачи, решаемые при нанесении проектной линии с постоянным уклоном: а – определение места выхода на поверхность линии, имеющей заданный продольный уклон; б – нахождение точки перехода из выемки в насыпь на прямом участке продольного профиля; в – то же на участке вертикальной кривой; 1 – линия продольного профиля; 2 – линия поверхности земли

Вначале вычисляют продольный уклон i_0 поверхности грунта на участке, где, судя по продольному профилю, проектная линия выходит на поверхность. Затем находят фиктивную отметку h на продолжении этого уклона в точке А, откуда начинается подъем. Прибавляя к этой отметке требуемое возвышение низа дорожной одежды в наиболее низком месте ее поперечного профиля в точке В определяют протяженность участка с подъемом $L = \frac{h + H}{i - i_0}$.

2) Нахождение точки перехода из выемки в насыпь (рис. 7.11б).

Расстояние l от начала участка, на котором проектная линия переходит из выемки в насыпь (или наоборот), определяют из подобия треугольников АВО и OCD: $\frac{H_2}{L-l} = \frac{H_1}{l}$, от-

$$\text{куда } l = \frac{H_1 L}{H_1 + H_2}.$$

3) При нанесении линии по вертикальной кривой точка пересечения с поверхностью земли (рис. 7.11в) может быть найдена путем совместного решения уравнения вертикальной кривой и уравнения линии поверхности земли в продольном профиле $l = Ri_0 \pm \sqrt{R^2 i_0^2 - 2Ra}$.

Современные проектные организации ведут проектирование продольного профиля на ЭВМ, используя программный комплекс Credo и другие аналогичные.

7.6. Назначение контрольных точек и руководящих рабочих отметок

Отметки проектной линии над контрольными высотными точками должны быть назначены до начала проектирования продольного профиля. К контрольным отметкам относят пересечения с железными, автомобильными дорогами и водотоками.

Контрольные отметки проектной линии при пересечении дорог в разных уровнях $H_k = H_q \pm \Gamma \pm C$, где H_q – отметка проезжей части по оси пересекаемой автодороги или отметка верха рельса железной дороги, м; Γ – габарит автомобиля, принимается 5 м для I-III, 4,5 м – для IV, V или габариты жд состава – 6,55 м; C – высота пролетного строения путепровода; «+» – при прохождении проектируемой дороги над существующей, «-» – под существующей.

При пересечении в одном уровне контрольная отметка проектной линии равна отметке проезжей части оси пересекаемой дороги. Если пересекаемая дорога имеет более низкую категорию, то контрольную отметку назначают по условиям проектирования продольного профиля.

Контрольные отметки у труб определяются:

1) по засыпке над трубой – $H_k = H_q + d + t + 0,5$, где H_q – отметка земли, м, d – внутренний диаметр трубы, м; t – толщина стенки трубы, м; 0,5 м – минимальная высота засыпки над трубой. Минимальная высота засыпки над трубой при безнапорном режиме $H_{\min}(H_k) = H_n + h_{mp} + \delta + \Delta$, где H_n – отметки лога, м; h_{mp} – высота трубы, м; δ – толщина трубы или перекрытия, м; Δ – толщина засыпки над трубой, м.

2) по возвышению бровки земляного полотна над уровнем подпертой воды – $H_k = УПВ + 0,5(1,0)$, 0,5 м – при безнапорном режиме, 1,0 м – при напорном.

Контрольные отметки у мостов через несудоходные реки $H_k = РУВВ + Z + C$, где $РУВВ$ – расчетный уровень высокой воды (по расчету или на 1,0-2,0 м выше отметки бровки русла), м; Z – расстояние от $РУВВ$ до низа пролетного строения (0,5 м при отсутствии ледохода и 1,0 м при наличии); C – строительная высота пролетного строения, м. Минимальная отметка настила моста $H_{\min} = H_n + H_m = H_n + 0,88H + \Delta + h_k$, где H_m – высота моста, м; H – напор воды перед мостом, м; Δ – возвышение низа пролетного строения над уровнем воды, м; h_k – высота пролетного строения моста, м.

Рекомендуемая (руководящая) рабочая отметка – наименьшая высота насыпи, обеспечивающая нормальные условия эксплуатации земляного полотна. Расчет выполняют в зависимости от типа местности по увлажнению, водно-теплогового режима земляного полотна, снегонакопления.

Деление территории по характеру и степени увлажнения детально рассмотрены в главе 9 «Проектирование земляного полотна».

Для первого типа местности по условию увлажнения расчеты выполняют по условию снегонезаносимости – $h_p = h_s + \Delta h$, где h_s – расчетная высота снегового покрова 5%-ной обеспеченности, м; Δh – возвышение бровки насыпи над расчетным уровнем снегового покрова (для I категории -1,2; II-0,7; III-0,6; IV-0,5; V-0,4 м).

Для второго и третьего типа – по условию оптимального водно-теплогового режима земляного полотна: для второго типа – $h_p = H_{\min} - ai_o$, где H_{\min} – минимальное возвышение поверхности покрытия над поверхностью дороги в зависимости от грунта и дорожно-климатической зоны (СНиП 2.05.02-85), м; a – ширина обочины, м; i_o – поперечный уклон, в долях единицы. Для третьего типа – $h_p = H_{\min} + H_o - ai_o$, где H_o – глубина залегания грунтовых вод, м.

В открытых местах, где возможны значительные снежные заносы, для облегчения зимнего содержания при эксплуатации дороги, рекомендуется принимать возвышение бровки земляного полотна на 0,4-1,2 м выше поверхности снегового покрова.

При проектировании малых и средних искусственных сооружений для обеспечения плавности проектной линии используют следующие приемы.

1. Расположение моста на продольном уклоне (рис. 7.12а). Если тип покрытия на мосту такой же, как и на подходах, то максимальный продольный уклон моста должен быть таким же, как и на подходах. При устройстве деревянных настилов продольный уклон проезжей части моста не должен превышать 20‰ при продольной укладке досок и 30‰ – при поперечной. Малые мосты, расположенные на участках с большими продольными уклонами, иногда смещают к одному из берегов долины, устраивая искусственное русло водотока. Участок с продольным уклоном, на котором расположен мост, должен быть продолжен на некоторое расстояние по обе стороны моста.

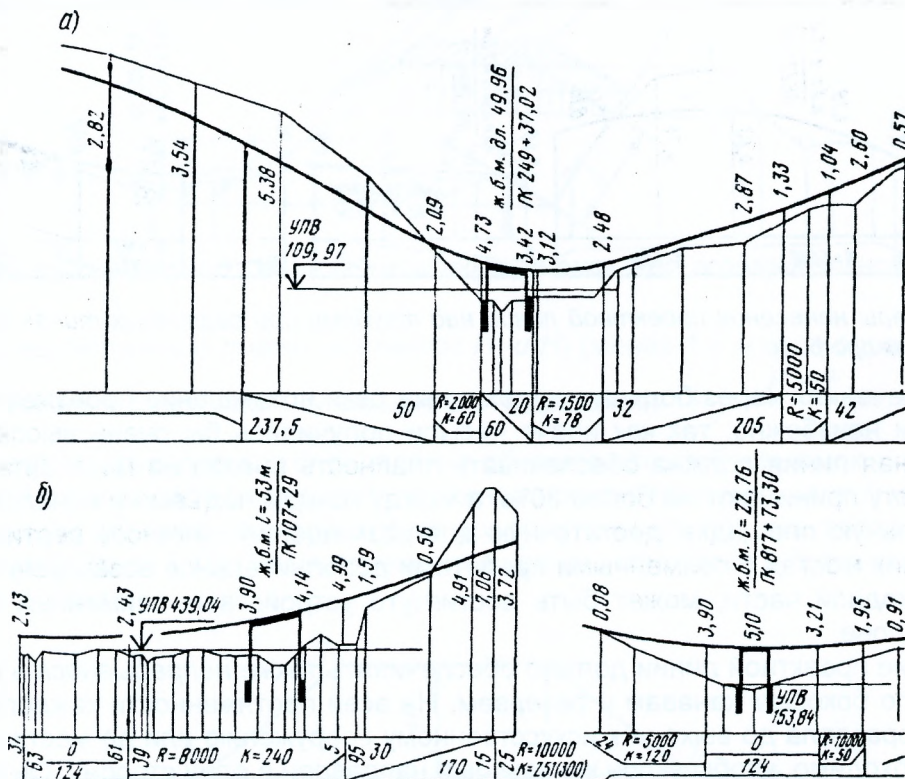


Рис. 7.12. Примеры нанесения проектной линии у малых мостов при различных типах проектной линии в продольном профиле

2. Расположение моста на вертикальной кривой, позволяющее устранить переломы проектной линии около моста, неизбежные при устройстве моста на горизонтальной площадке (рис. 7.12б).

3. Углубление русла под мостом. Необходимость в таком решении появляется при пересечении слабо выраженных тальвегов в равнинной местности, в которых бытовая глубина протекания воды не превышает 20-30 см. Весь расход или большая его часть пропускается под мостом в канаве. Для углубления русла необходимо, чтобы уклон у лога давал возможность придать канаве такой продольный уклон, при котором русло не заиливалось бы, а канаву можно было бы вывести на поверхность вблизи моста.

4. Снижение рабочей отметки искусственных сооружений. Это решение достигается увеличением отверстия моста, что обеспечивает уменьшение расчетной скорости и глубины протекания воды, а также высоты подпертого горизонта, или заменой одной трубы большого диаметра несколькими меньшими трубами, имеющими равную суммарную пропускную способность.

При проектировании насыпей на переходах через узкие и глубокие овраги рабочая отметка в месте устройства искусственного сооружения, определяемая по соображениям равенства объемов насыпей и выемок, обычно оказывается больше, чем минимальная высота насыпи, необходимая из условия пропуска высоких вод. Поскольку высокие мосты устраивают с конусами и длина их по настилу значительно возрастает с увеличением высоты, на переходах через узкие и глубокие овраги наиболее целесообразно укладывать **трубы**, если

отсутствует опасность их закупоривания селевыми выносами или предметами, приносимыми ливневым стоком. Примеры таких технических решений приведены на рис. 7.13.

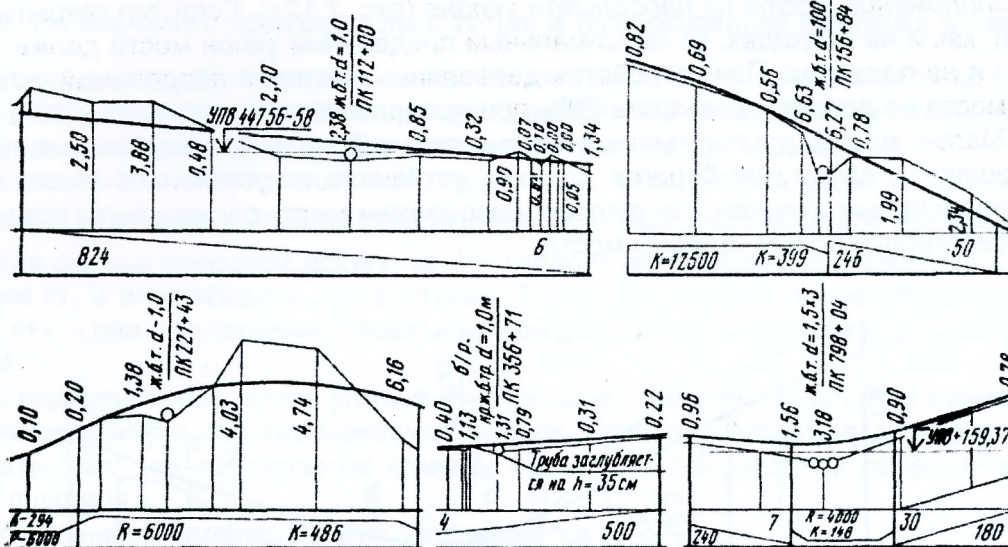


Рис. 7.13. Примеры нанесения проектной линии над трубами при различных типах проектной линии в продольном профиле

На пересечениях через большие судоходные реки возвышение проезжей части моста над подходами неизбежно, так как иначе насыпи получились бы очень высокими. В этом случае проектная линия должна обеспечивать плавность въезда на мост. Для этого уклон подходов к мосту принимают не более 30‰, а между концом подъема и началом моста вводят горизонтальную площадку, достаточную для размещения тангенсов вертикальных кривых. На больших мостах с пойменными пролетами дополнительное возвышение, необходимое для судоходной части, может быть достигнуто устройством пойменных пролетов на продольном уклоне.

Положение проектной линии должно обеспечивать также непрерывность продольного отвода воды по боковым канавам и резервам. На всей протяженности каждого участка канавы – от водораздела до выхода к искусственному сооружению или до места сброса воды из канав – необходимо, чтобы уклон канавы был направлен в одну сторону. Он должен быть достаточен для свободного стока воды без застоев. Для этого дорожным канавам, зарастающим травой и работающим лишь периодически, следует придавать уклон не менее 5‰. Только в исключительных случаях, при особенно трудных для водоотвода равнинных условиях, допускается снижение продольного уклона до 3‰. Необходимо использовать каждую возможность отвода воды из канав в пониженные места в сторону от дороги, устраивая в соответствующих местах отводные русла с уклоном не менее 2‰.

На отдельных коротких горизонтальных площадках, главным образом на водоразделах, для отвода воды можно предусматривать углубленные боковые канавы, не параллельные бровке дороги и имеющие минимальный уклон, необходимый для стока воды. По мере удаления от водораздела глубина канав увеличивается. Поэтому следует избегать дополнительного углубления канав более чем на 0,6 м сверх их нормальной глубины, принятой по грунтовым и гидрологическим условиям, так как даже при заложении откосов 1:1,5 канава глубиной 1,0-1,2 м имеет ширину поверху 3,5-4,0 м.

При значительном поперечном уклоне местности во избежание переполнения верховой придорожной канавы в пониженных местах продольного профиля периодически устанавливают безрасчетные трубы для перепуска воды из верховой канавы в низовую. Желательно, чтобы отвод воды от боковых канав в сторону или в искусственное сооружение осуществлялся не реже чем через 500 м.

7.7. Определение объемов земляных работ

Для составления проекта организации работ, выбора типов дорожных машин и оценки стоимости строительства должны быть определены объемы земляных работ, которые требуется выполнить при возведении земляного полотна на отдельных участках и дороге в це-

лом. Объемы земляных работ подсчитывают на основании рабочих отметок, снятых с продольного профиля.

Короткий участок насыпи между двумя смежными переломами продольного профиля при отсутствии поперечного уклона местности может рассматриваться как правильное геометрическое тело – призматойд с трапециевидальными основаниями (рис. 7.14).

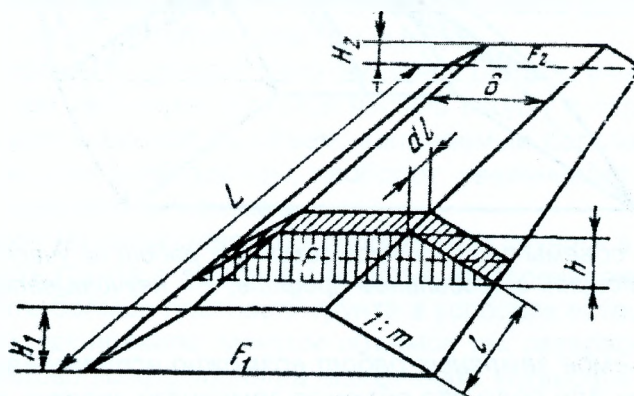


Рис. 7.14. Схема к определению объемов насыпей и выемок при горизонтальной поверхности грунта

При небольшой разнице смежных отметок H_1 и H_2 (менее 1,0 м) для определения земляных работ можно использовать упрощенные выражения: $V_{np} = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot L = F_{cp} \cdot L$. Это уравнение одинаково пригодно для определения объемов насыпей и выемок.

Однако при равных рабочих отметках и равной ширине проезжих частей и обочин объемы выемок больше объемов насыпей за счет дополнительного объема, связанного с наличием боковых канав (рис. 7.15). Рассмотренные формулы относятся к прямым участкам дороги в плане и профиле.

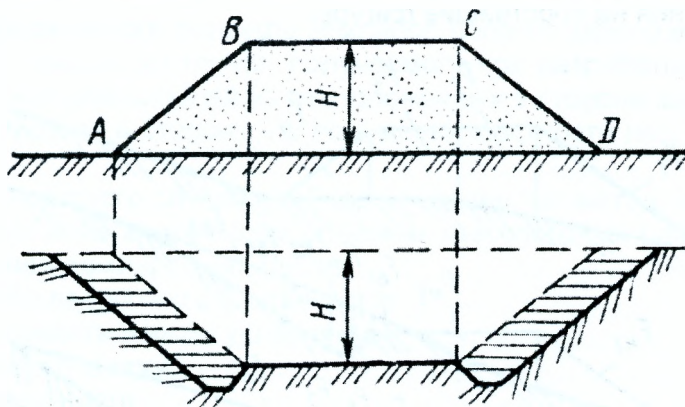


Рис. 7.15. Различие в объемах насыпей и выемок при одинаковых рабочих отметках

Однако при современных методах трассирования дорог клотоидными кривыми в плане и вертикальными кривыми в продольном профиле ось дороги является криволинейной. Кривизна дороги в плане в равнинной местности не отражается на объемах земляных работ. Согласно теореме Гюльдена, объем тела вращения равен произведению площади его сечения на длину траектории центра тяжести. При отсутствии поперечного уклона местности центр тяжести земляного полотна расположен на его оси, по которой ведется измерение длины трассы.

В связи с плавностью изменения радиусов кривизны клотоид больших радиусов можно считать, что кривизна остается постоянной в пределах коротких участков, для которых ведется подсчет земляных работ.

Кривизна в продольном профиле требует учета (рис. 7.16). Ее игнорирование при большой длине участка между сечениями может вносить существенные погрешности. По-

этому в местах, где кривизна может вносить существенные искажения в результаты расчетов, целесообразно принимать длины участков, не превышающие 50 м.

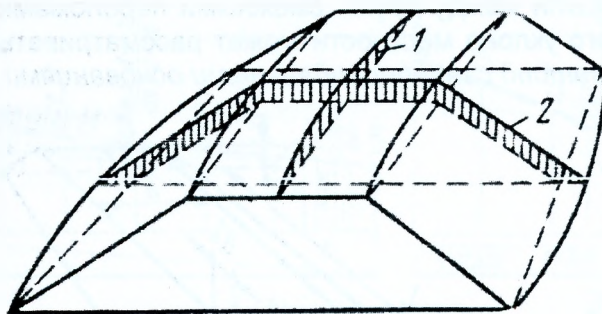


Рис. 7.16. Неучитываемые объемы при подсчете земляных работ на участках вертикальных кривых: 1 – неучитываемая площадь в продольном профиле; 2 – неучитываемая площадь в поперечном сечении

Для подсчетов объемов земляных работ возможно использование специальных таблиц (Митин Н. А. Таблицы для подсчета объемов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1977), составленных для различной ширины земляного полотна. Обычно в таблицах приводятся значения объемов земляного полотна для разных значений суммы рабочих отметок $H_1 + H_2$ при разной длине участка L . Для удобства подсчетов объем боковых канав включают в объем выемок. При подсчете насыпей объем боковых канав учитывают дополнительно по специальным таблицам.

В настоящее время подсчет объемов земляных работ ведут на ЭВМ по результатам проектирования продольного профиля.

Поперечный уклон местности менее 100‰ мало влияет на объем работ и при подсчете не принимается во внимание. Для подсчета объемов земляных работ на косогорных участках должны быть вычерчены поперечные профили земляного полотна в характерных точках (рис. 7.17). Площади выемок и насыпной части измеряют обводкой планиметром или путем разбивки сложного сечения на простейшие фигуры.

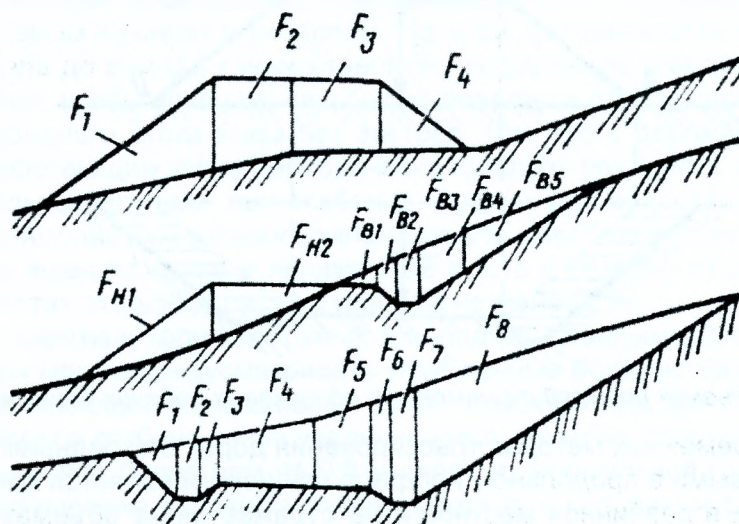


Рис. 7.17. Поперечные профили земляного полотна на косогоре

Мосты длиной по настилу менее 4 м и трубы при подсчете объемов земляных работ для упрощения не учитывают, т.е. считают их как бы заполненными землей.

Для более точного учета объема земляных работ, которые необходимо выполнить при строительстве дороги, к объемам, вычисленным по формулам, необходимо вводить поправки, учитывающие:

- 1) влияние разности смежных отметок, если она превышает 1,0 м;
- 2) дополнительные объемы земляных работ по удалению растительного грунта, по отсыпке конусов у искусственных сооружений;

- 3) объемы, занимаемые в готовой дороге дорожной одеждой (так называемую поправку на устройство дорожной одежды);
- 4) различие в степени уплотнения грунта в условиях естественного залегания и в насыпях после искусственного уплотнения; просадки насыпей в слабые основания (торф, рыхлые грунты).

Кроме того, на дополнительные и не учтенные в проекте работы вводят поправочный коэффициент 1,05-1,10 на общий объем земляных работ.

При введении *поправки на устройство дорожной одежды* учитывают способы отсыпки обочин. Эту поправку при подсчете объемов насыпи вводят с отрицательным знаком, так как земляные работы уменьшаются на объем, занимаемый дорожной одеждой. В выемках поправка на устройство дорожной одежды, наоборот, увеличивает объем земляных работ, поэтому вводится с положительным знаком.

Введение *поправок на искусственное уплотнение грунта* в насыпях связано с тем, что требуемая плотность грунта в земляном полотне, обеспечивающая его прочность и устойчивость, должна быть больше плотности грунта в условиях естественного залегания. Поэтому объемы насыпей, как правило, меньше объемов тех резервов, из которых их отсыпают. Значение *поправочного коэффициента* может быть установлено путем сопоставления плотности грунта в условиях естественного залегания с плотностью грунта, которую необходимо обеспечить в земляном полотне.

Просадки насыпей на участках, расположенных на слабых, уплотняющихся под насыпью или выжимаемых из-под нее грунтах, вычисляют при помощи методов оценки устойчивости земляного полотна.

Если грунты на отдельных участках дороги или даже в пределах одного поперечного профиля *различны по трудности разработки*, объемы земляных работ подсчитывают отдельно для каждой категории грунта. Это же относится к участкам с неблагоприятными грунтовыми и гидрологическими условиями, где верхнюю часть земляного полотна отсыпают из привозных песчаных грунтов.

7.8. Установление дальности перевозки грунта

В условиях пересеченного рельефа земляное полотно *можно возводить несколькими методами*: отсыпать насыпи из грунта, получаемого при разработке выемок (*продольная перевозка*); брать грунт для насыпей из расположенных в стороне карьеров или в резервах, а грунт из выемок отвозить в сторону – в понижения местности или в отвалы (*поперечная перевозка*).

Для каждого конкретного случая наиболее выгоден тот метод, который связан с меньшим занятием ценных земель, меньшим объемом транспортных работ и наиболее эффективным использованием землеройных машин.

Вопрос о способе перевозки определяется:

- 1) местными хозяйственными условиями;
- 2) природными условиями;
- 3) рельефом местности;
- 4) наличием подъездных путей;
- 5) грунтовыми и гидрологическими условиями.

Возможность поперечной перевозки исключается на ценных земельных угодьях, участках сильно засоленных грунтов, на пересечениях болот, в пределах населенных пунктов.

Продольную перевозку невозможно применить, если разрабатываемый грунт в выемке непригоден для укладки в насыпь и на пути возки нет переправы через реки или болота.

При составлении проекта организации земляных работ для установления участков смежных насыпей и выемок с равными объемами и определения средних дальностей перевозки может быть применен *метод построения графика распределения земляных масс*. Его строят путем последовательного алгебраического суммирования по ходу трассы объемов насыпей и выемок по данным ведомостей подсчета объемов земляных работ. Объемы выемок, служащие источниками получения грунта, принимаются со знаком «+», а объемы насыпей, для возведения которых расходуется этот грунт, – со знаком «-».

Последовательную сумму объемов откладывают по ординатам против пикетов и промежуточных точек спрямленной трассы, служащей осью абсцисс (рис. 7.18).

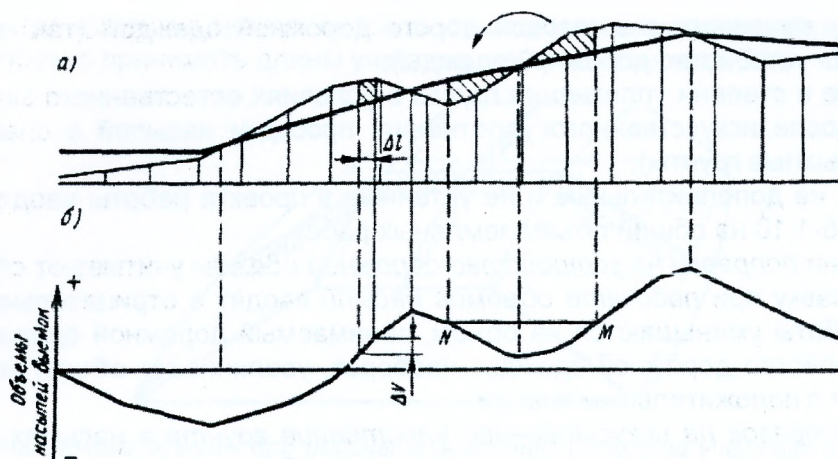


Рис. 7.18. Построение графика распределения земляных масс: а – продольный профиль; б – кривая распределения земляных масс

Кривые распределения земляных масс имеют следующие особенности:

- восходящие участки кривой соответствуют выемкам, а нисходящие – насыпям;
- максимумы и минимумы кривой располагаются над точками перехода из выемки в насыпь и наоборот;
- любая ордината кривой представляет собой алгебраическую сумму насыпей и выемок от начала кривой до рассматриваемого сечения;
- разность двух ординат ΔV равна объему земляных работ между рассматриваемыми сечениями ΔL на дороге;
- любая горизонтальная линия NM , пересекающая кривую объемов, отсекает участок, на котором объем насыпи равен объему выемки. Эта линия называется *равнообъемной, или распределяющей*;
- средняя дальность перевозки грунта в пределах участка кривой, отсекаемого распределяющей линией, равна частному от деления отсеченной площади на ее максимальную высоту $L_{cp} = \omega V$.

График распределения земляных масс в условиях пересеченного рельефа может быть использован для выбора дорожных машин. Зная среднюю дальность перевозки, при которой землеройная машина используется наиболее эффективно, ее откладывают на кривой распределения земляных масс.

Данные анализа кривой распределения земляных масс следует рассматривать лишь как ориентировочные, не отражающие полностью действительных условий перемещения грунта. Во-первых, при анализе кривой допускают, что грунт перемещают строго по прямой линии между центрами тяжести перемещаемых объемов. Между тем фактическая дальность перевозки с учетом разворотов, возможности движения только по участкам не круче определенных уклонов, влияния расположения въездов на насыпи может существенно превышать это расстояние. В зависимости от состояния поверхности грунта сопротивление движению может также сильно меняться. Во-вторых, условия работы землеройных машин и транспортных средств, а также обеспечение водоотвода из выемок в процессе работы могут препятствовать перемещению грунта из выемки в насыпь, если выемка расположена ниже по уклону дороги по отношению к насыпи. При работе экскаваторов может оказаться полезной прокладка пионерной траншеи на всю длину выемки за пределы рациональной дальности перевозки применяемых транспортных средств.

Существенные коррективы в решения, найденные по графику распределения земляных масс, может вносить также учет качества грунтов, разрабатываемых в выемках и резервах.

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

8.1. Элементы поперечного профиля дороги

Полосу местности, выделяемую для расположения на ней дороги, разработки грунта, предназначенного для отсыпки насыпей, строительства вспомогательных сооружений и посадки зеленых насаждений, называют *дорожной полосой*, или *полосой отвода*.

Изображение в уменьшенном масштабе сечения дороги вертикальной плоскостью, перпендикулярной к оси дороги, называют *поперечным профилем* (рис. 8.1).

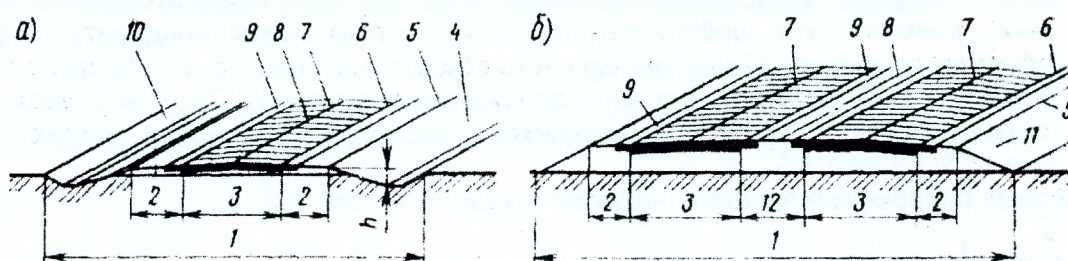


Рис. 8.1. Элементы поперечного профиля дороги: а – с одной проезжей частью; б – с двумя проезжими частями и разделительной полосой; 1 – земляное полотно; 2 – обочина; 3 – проезжая часть; 4 – внутренний откос боковой канавы; 5 – бровка насыпи; 6 – кромка проезжей части; 7 – ось проезжей части; 8 – ось дороги; 9 – краевая полоса; 10 – внешний откос боковой канавы; 11 – откос насыпи; 12 – разделительная полоса

Полоса поверхности дороги, в пределах которой происходит движение автомобилей, представляет собой *проезжую часть*. Ее укрепляют прочными каменными материалами, устраивая *дорожную одежду*, верхний слой которой называют *покрытием*. Дороги I категории имеют самостоятельные проезжие части для движения в каждом направлении. Между ними для безопасности оставляют *разделительную полосу*, на которую запрещается заезд автомобилей. Сбоку от проезжей части расположены *обочины*. Обочины используются для временной стоянки автомобилей и для размещения дорожно-строительных материалов при ремонтах. Наличие обочины, окаймляющей проезжую часть, способствует безопасности движения автомобилей. Вдоль проезжей части на обочинах и разделительных полосах устраивают *укрепительные (краевые) полосы*, повышающие прочность края дорожной одежды и обеспечивающие безопасность при случайном съезде колеса автомобиля с покрытия. Наличие краевых полос оказывает положительный психологический эффект на водителей, устраняя боязнь приближения к краю проезжей части.

Для расположения проезжей части на необходимом уровне от поверхности грунта сооружают *земляное полотно* (насыпь или выемку) с боковыми канавами (куветами), предназначенными для осушения дороги и отвода от нее воды. К земляному полотну относят также *резервы* – неглубокие выработки вдоль дороги, из которых был взят грунт для отсыпки насыпи, и *кавалеры* – параллельные дороге валы, в которые укладывают грунт из выемок, не потребовавшийся для отсыпки смежных участков насыпей. Другими словами, земляным полотном называют всю часть полосы отвода, затронутую земляными работами.

Проезжая часть и обочины отделяются от прилегающей местности правильно спланированными наклонными плоскостями – *откосами*. В выемках и боковых канавках различают внешний и внутренний откосы. Линия сопряжения поверхностей обочины и откоса насыпи или внутреннего откоса канавы образует *бровку земляного полотна*. Расстояние между бровками условно называют *шириной земляного полотна*. Крутизну откосов характеризуют *коэффициентом заложения*, который определяется отношением высоты откоса к его горизонтальной проекции – *заложению* (котангенс угла наклона).

Откосам малых насыпей (до 1,0 м) для возможности съезда автомобилей с дороги в аварийных случаях целесообразно придавать заложение 1:5 или 1:6. Это способствует также уменьшению *заносимости дороги снегом* и повышает безопасность движения. При высоте насыпи менее 6,0 м, исходя из требований экономии земляных работ, откосы устраивают с заложением 1:1,5.

В настоящее время по действующим правилам сооружения земляного полотна принимают следующие коэффициенты заложения откосов:

- 1) не круче 1:4 для насыпей высотой до 3 м на дорогах I-III категорий и 1:3 для насыпей высотой до 2 м на дорогах остальных категорий;
- 2) более высокие насыпи, а также насыпи на ценных плодородных землях, строящиеся из грунта, привозимого из закладываемых вдалеке от дороги грунтовых карьеров, или строящиеся в местах, где съезд с дороги невозможен, допускается возводить с более крутыми откосами 1:1,5 при обязательной установке ограждений на высоких насыпях. В мелких песчаных и пылеватых грунтах в районах с влажным климатом крутизну откосов уменьшают до 1:1,75;
- 3) для устойчивости высоких насыпей, за исключением случаев отсыпки их из валунных, гравелистых и щебенистых грунтов, которым можно придавать постоянную крутизну до высоты 12 м, нижнюю часть откосов, начиная с 6 м от бровки земляного полотна, делают более пологой с заложением откосов 1:1,75. При возведении насыпей из камня слабовыветривающихся скальных пород откосам придают заложение от 1:1,3 до 1:1,5.

Типовые поперечные профили насыпей показаны на рис. 8.2.

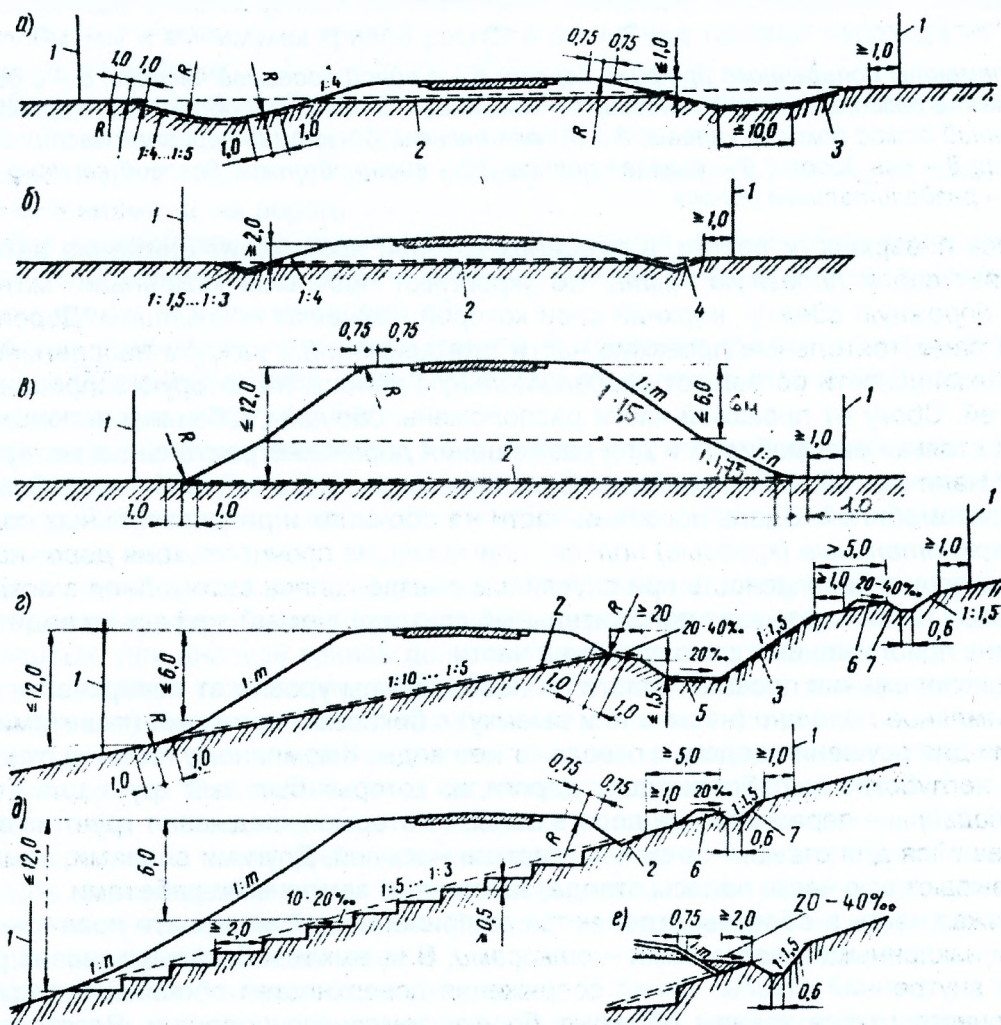


Рис. 8.2. Поперечные профили земляного полотна в насыпях: а – обтекаемый поперечный профиль с кюветом-резервом при высоте менее 1 м; б – необтекаемый поперечный профиль при высоте до 2 м; в – при высоте до 12 м; г – на косогоре с уклоном менее 1:1,5 до 1:3 с резервом; д – на косогоре крутизной от 1:5 до 1:3; е – деталь сопряжения верхового откоса насыпи с поверхностью грунта при отсутствии нагорной канавы; 1 – граница полосы отвода; 2 – сминаемый слой растительного грунта; 3 – слой растительного грунта, укладываемого на откосах; 4 – треугольная канава глубиной по расчету, но не менее 0,3 м; 5 – резерв размером в зависимости от необходимого количества грунта; 6 – банкет высотой не более 0,6 м; 7 – нагорная канава глубиной по расчету, но не менее 0,6 м

Для насыпей высотой 2,0 м и менее имеются два типа поперечных профилей: *обтекаемый* и *необтекаемый*. Основной из них – обтекаемый поперечный профиль – применяется при возможности получения для строительства дороги широкой полосы местности (полосы отвода), имеет округленные очертания, которые способствуют его плавному обтеканию снеговетровым потоком и меньшей заносимости снегом. Если дорогу прокладывают по малоценным землям, грунт для отсыпки насыпи берут из устраиваемых рядом с насыпью неглубоких выработок – резервов. Размеры резервов определяют исходя из количества грунта, необходимого для отсыпки земляного полотна. Глубина резервов должна быть не более 1,5 м и не менее 0,3 м. На участках с поперечным уклоном местности резервы располагают с нагорной стороны, на горизонтальных – с одной или двух сторон в зависимости от местных условий. Ширину резервов необходимо по возможности выдерживать постоянной на достаточно больших участках.

При строительстве дорог на ценных сельскохозяйственных угодьях устраивают насыпи необтекаемого поперечного профиля, возводимые из привозного грунта.

Типовые поперечные профили выемок показаны на рис. 8.3.

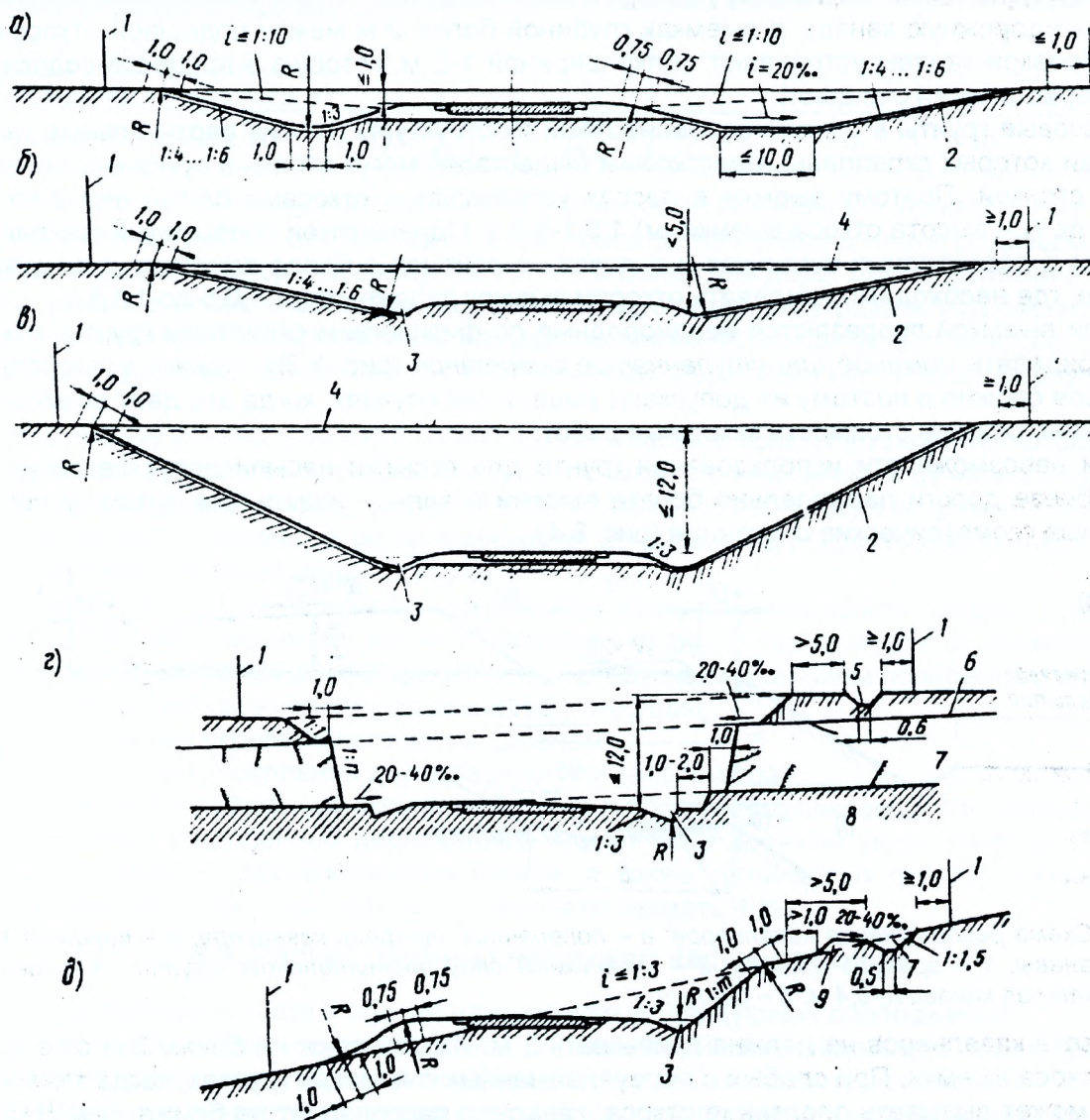


Рис. 8.3. Поперечные профили земляного полотна в выемках: а – мелкие выемки обтекаемого профиля – раскрытая (слева) и разделанная под насыпь (справа); б – мелкая необтекаемая выемка; в – выемка глубиной до 12 м; г – выемка в неоднородных грунтах; д – полунасыпь-полувыемка на косогоре; 1 – граница полосы отвода; 2 – слой растительного грунта на откосах; 3 – канава глубиной по расчету, но не менее 0,3 м; 4 – снимаемый слой растительного грунта на откосах; 5 – нагорная канава глубиной не менее 0,6 м; 6 – рыхлые отложения; 7 – легковыветривающаяся скальная порода; 8 – слабовыветривающаяся скальная порода; 9 – банкет высотой не более 0,6 м

На дорогах I-III категорий выемки глубиной до 1 м рекомендуется устраивать *обтекаемого поперечного профиля*, обеспечивающего незаносимость снегом. Они бывают *двух типов*: раскрытые с пологим внешним откосом и разделанные под насыпь (рис. 8.3а) – настолько уширенные, что проезжая часть воспринимается как бы построенной на насыпи.

В местностях с интенсивными метелями и снегопадами выемки глубиной до 5 м целесообразно устраивать с откосами 1:1,5-1:2 с дополнительными полками шириной не менее 4 м для размещения приносимого и счищаемого с дороги снега.

При большей глубине для откосов выемок, устраиваемых в песчаных и однородных глинистых грунтах плотной консистенции, принимают заложение 1:1,5, а в крупнообломочных – до 1:1. Для улучшения обтекаемости внешние кромки откосов округляют.

В скальных легковыветривающихся и размягчаемых породах в зависимости от их свойств, степени выветривания и глубины выемки заложение откосов принимают от 1:0,5 до 1:1,5. При этом необходимо учитывать наклон залегания слоев, устойчивость горных пород против выветривания и экспозицию откосов выемок. Часто бывает, что породы (например, сланцевые и меловые), кажущиеся во время разработки вполне устойчивыми, после обнажения подвергаются интенсивному распаду и выветриванию. Чтобы осыпавшийся материал не засорял дорожную канаву, в выемках глубиной более 2 м между подошвой откоса и наружной бровкой канавы устраивают полку шириной 1-2 м, которую в процессе содержания дороги периодически очищают.

Лессовые грунты в связи с особенностями их структуры (тонкие вертикальные каналы, стенки которых скреплены известковым веществом) могут стоять в сухих местах вертикальной стенкой. Поэтому выемки в лессах устраивают с откосами ближе чем $H+5$ м от бровки (где H – высота откоса выемки, м) 1:0,1-1:0,5. Однако такой поперечный профиль неприменим в лессовидных суглинках и в лессах в районах с более влажным и дождливым климатом, где необходимо придавать откосам выемок заложения от 1:0,5 до 1:1,5.

Если выемкой пререзаются неоднородные по физическим свойствам грунты, откосам можно придавать *ломаное или ступенчатое очертание* (рис. 8.3г). Однако устройство таких откосов сложно и поэтому их допускают лишь в тех случаях, когда это дает возможность существенно снизить стоимость земляных работ.

При невозможности использования грунта для отсыпки насыпи допускается укладка его на обресте дороги параллельно бровке выемки в валы – *кавальеры*, которым придают правильные геометрические очертания (рис. 8.4).

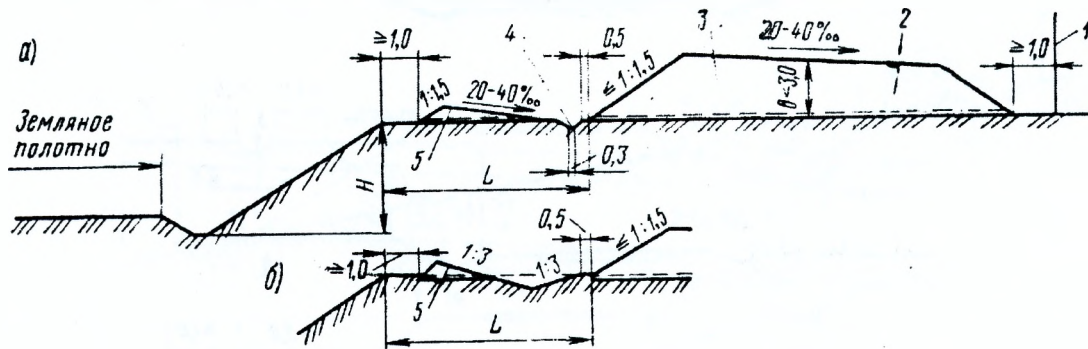


Рис. 8.4. Схема расположения кавальеров: а – поперечный профиль кавальера; б – вариант забанкетной канавы: 1 – граница отвода; 2 – снимаемый слой растительного грунта; 3 – кавальер; 4 – забанкетная канава $h=0,4$ м; 5 – банкет

Высота кавальеров не должна превышать 3 м. Их отсыпают не ближе 3 м от внешней бровки откоса выемки. При слабых и переувлажненных глинистых грунтах, когда тяжесть кавальера может вызывать оползание откоса, кавальер располагают не ближе, чем $H+5$ м от бровки (где H – высота откоса выемки, м).

Для предотвращения стекания дождевой или талой воды в выемку между кавальером и откосом выемки отсыпают вал грунта треугольного сечения, называемый *банкетом* (рис. 8.4). Высота банкета не превышает 0,6 м; подошва его откоса должна отстоять от бровки выемки не менее чем на 1 м. Поверхности банкета придается уклон 20-40‰ в сторону от выемки. Между банкетом и кавальером отрывают *забанкетную канаву* глубиной и шириной по дну не более 0,3 м.

8.2. Основные параметры элементов поперечного профиля

Согласно СНиП 2.05.02-85 основные параметры поперечного профиля проезжей части и земляного полотна автомобильных дорог в зависимости от их категории следует принимать по табл. 8.1.

Таблица 8.1. Основные параметры поперечного профиля

Параметры элементов дорог	Категории дорог					
	I-а	I-б	II	III	IV	V
Число полос движения	4; 6; 8	4; 6; 8	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3	–
Ширина проезжей части, м	2x7,5;	2x7,5	7,5	7	6	4,5
	2x11,25;	2x11,25;				
	2x15	2x15				
Ширина обочин, м	3,75	3,75	3,75	2,5	2	1,75
Наименьшая ширина укрепленной полосы обочины, м	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	–
Наименьшая ширина разделительной полосы между разными направлениями движения, м	6	5	–	–	–	–
Наименьшая ширина укрепленной полосы на разделительной полосе, м	1	1	–	–	–	–
Ширина земляного полотна, м	28,5; 36,0; 43,5	27,5; 35,0; 42,5	15	12	10	8

Проезжую часть предусматривается с *двускатным поперечным профилем* на прямолинейных участках дорог всех категорий и, как правило, на кривых в плане радиусом 3000 м и более для дорог I категории и радиусом 2000 м и более для дорог других категорий.

На кривых в плане с меньшим радиусом следует предусматривать устройство проезжей части с *односкатным поперечным профилем* (виражей) исходя из условий обеспечения безопасности движения автомобилей с наибольшими скоростями при данных радиусах кривых.

Поперечные уклоны проезжей части (кроме участков кривых в плане, на которых предусматривается устройство виражей) следует назначать в зависимости от числа полос движения и климатических условий согласно СНиП 2.05.02-85 (20-25‰). На гравийных и щебеночных покрытиях поперечный уклон принимают 25-30‰, а на покрытиях из грунтов, укрепленных местными материалами – 30-40‰.

Поперечные уклоны обочин при двускатном поперечном профиле следует принимать на 10-30‰ больше поперечных уклонов проезжей части. В зависимости от климатических условий и типа укрепления обочин допускаются следующие величины поперечных уклонов:

- 30-40‰ при укреплении с применением вяжущих;
- 40-60‰ при укреплении гравием, щебнем;
- 50-60‰ при укреплении дернованием или засевом трав.

Для районов с небольшой продолжительностью снегового покрова и отсутствием гололеда для обочин, укрепленных дернованием, может быть допущен уклон 50-80‰. При устройстве из крупно- и среднезернистых песков, а также суглинистых грунтов и глин уклон обочин, укрепленных засевом трав, допускается принимать 40‰.

8.3. Расчет ширины проезжей части и обочин

Ширина проезжей части и обочин назначается из следующих соображений.

1. Автомобиль фактически движется по некоторой синусоидальной траектории. Отклонения этой траектории от прямой тем больше, чем выше скорость движения.

2. Чем выше скорость движения автомобиля, тем большая ширина полосы движения ему необходима на проезжей части. Считается, что расстояние, на которое водитель удаляет автомобиль от края смежной полосы движения, зависит от *скорости углового перемещения* встречного автомобиля в поле его зрения (рис. 8.5). Если водитель смотрит прямо перед автомобилем, то движение встречного автомобиля воспринимается им, пока этот автомобиль находится в пределах зоны видимости, ограниченной углом зрения 2β , примерно равным 90° в горизонтальной плоскости («поле взгляда»).

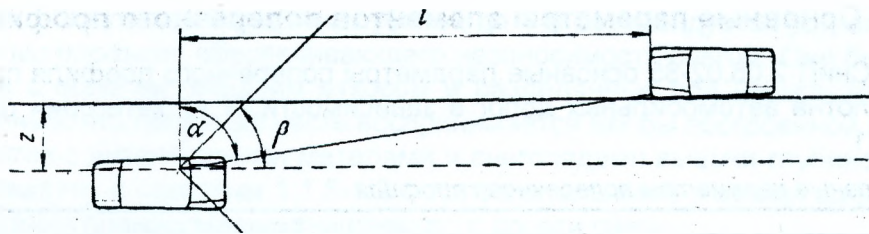


Рис. 8.5. Схема к определению зазора между встречающимися автомобилями

3. Предельное значение α , при котором водитель, не поворачивая глаза, различает движение встречного автомобиля, $\alpha=90-\beta$. Соответствующее ему значение $l = z \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \beta)$.

4. Расстояние между встречными автомобилями, которое стремятся выдерживать водители, прямо пропорционально сумме скоростей этих автомобилей $z = (V_1 + V_2) / 4\pi$.

Необходимая ширина полосы движения складывается из ширины кузова автомобиля, расстояния от кузова до края смежной полосы движения и расстояния от колеса до кромки проезжей части. Эти расстояния зависят от индивидуальных особенностей водителей и меняются в известных пределах. Поэтому необходимые их значения могут быть установлены только на основе большого числа наблюдений. В основу рекомендации СНиП 2.05.02-85 положены результаты многолетних исследований Н.Ф. Хорошилова, который предлагает определять ширину проезжей части дороги с двумя полосами движения (рис.8.6) по формуле

$$B = b + c + 2y + x, \quad (8.1)$$

где b – ширина кузова автомобиля, м; c – колея автомобиля (расстояние между внешними гранями следа наиболее широко расположенных колес), м; x – зазор между кузовами встречных автомобилей, м; y – расстояние от внешней грани следа колеса до края проезжей части, м.

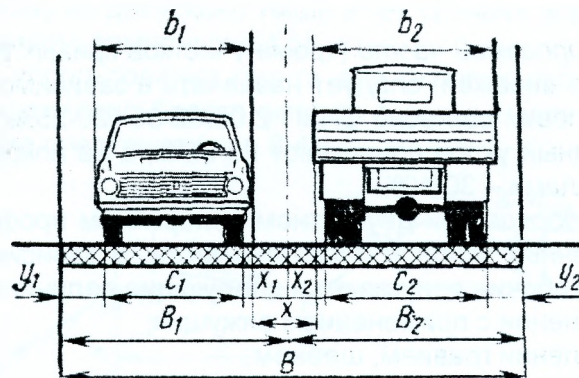


Рис. 8.6. Схема к определению ширины полосы движения

Для величин x и y предложены эмпирические формулы: $x = 0,3 + 0,1 \cdot \sqrt{V_1 + V_2}$; $y = \sqrt{0,1 + 0,0075 \cdot V}$. При движении в одном направлении по смежным полосам проезжей части, например при обгоне $x = 0,3 + 0,075 \cdot \sqrt{V_1 + V_2}$ $y = \sqrt{0,1 + 0,0075 \cdot V}$.

Формулы предусматривают случай движения по проезжей части, сопрягающейся в одном уровне с прочными ровными обочинами. При наличии у кромки проезжей части возвышающегося бордюра, как показывает опыт, водители, боясь наезда на них, не используют край покрытия на ширину, равную двум-трем высотам бордюра.

В настоящее время при расчетах ширины проезжей части дорог I-III категорий исходят из меньших скоростей движения, чем при обосновании требований к элементам плана и продольного профиля. Это решение является вынужденным, поскольку дорожная одежда является самой дорогостоящей частью дороги, а большие задачи дорожного строительства в Беларуси требуют максимально экономичного использования средств, выделяемых на дорожное хозяйство. Уширить проезжую часть всегда возможно в процессе последующей экс-

платации, тогда как реконструкция дороги в плане и профиле часто бывает затруднительна или даже невозможна.

При обосновании необходимой ширины полосы движения следует рассматривать два возможных случая встречи автомобилей: первый – легковых автомобилей, имеющих небольшую ширину, но высокие скорости; второй – грузовых автомобилей с широкими кузовами, но движущихся с меньшими скоростями.

Назначение ширины проезжей части – задача технико-экономическая. На дорогах с малой интенсивностью движения для снижения расходов на строительство принимают меньшую ширину полосы движения, сознательно предусматривая необходимость снижения скорости при немногочисленных встречах автомобилей. В сложных условиях и на внутрихозяйственных дорогах иногда допускают строительство дорог с проезжей частью на одну полосу движения с устройством специальных уширений, на которых один из автомобилей ожидает проезда встречного. С каждого уширения должно быть видно следующее.

Строительные нормы и правила предусматривают следующую ширину одной полосы движения, в общем удовлетворяющую средним современным условиям движения по дорогам: I, II категории – 3,75 м, III – 3,5 м; IV – 3,0 м. Дороги V категории имеют проезжую часть с одной полосой движения шириной 4,5 м.

8.4. Параметры поперечных профилей дополнительных и переходно-скоростных полос

На автомобильных дорогах, проходящих в пересеченной местности, скорость автомобилей меняется на протяжении чередующихся подъемов и спусков. Многие водители специально увеличивают скорость в нижней части спусков, чтобы, накопив кинетическую энергию, легче преодолеть последующий подъем. Поэтому на участках высоких скоростей желательно устраивать более широкую проезжую часть.

СНиП предусматривает увеличение ширины полосы движения в пределах средней части вогнутых вертикальных кривых при алгебраической разности сопрягаемых уклонов 60‰ и более на 0,5 м для дорог II и III категорий и на 0,25 м – на дорогах IV и V категорий. Длина уширенных участков должна быть не менее 100 м для дорог II и III категорий и 50 м для дорог IV и V категорий.

Подъемы круче 30-40‰ автомобили большой грузоподъемности, имеющие малый запас мощности, и автопоезда могут преодолевать лишь с весьма низкими скоростями (не более 15-20 км/ч). Для отделения из основного потока автомобилей, обладающих низкими динамическими качествами, на дорогах с интенсивным движением (150-200 авт/ч в сторону подъема) проезжую часть уширяют, устраивая дополнительные полосы в направлении, ведущем на подъем (рис. 8.7). Ширину дополнительных полос назначают не менее 3,5 м. Дополнительные полосы должны начинаться не менее чем за 50 м до начала подъема и продолжаться не менее чем на 50-200 м за подъем.

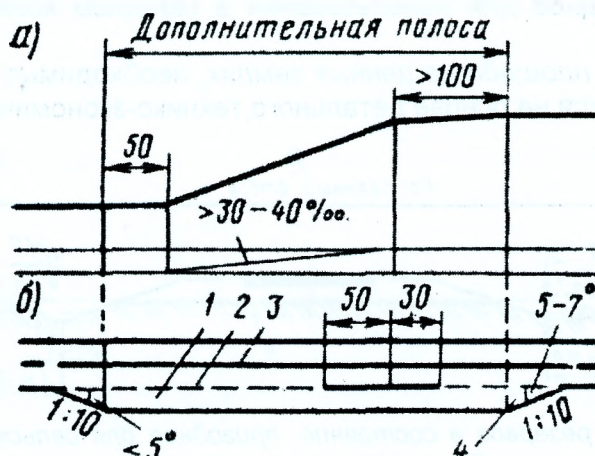


Рисунок 8.7. Схема планировки дополнительной полосы на подъеме: а – продольный профиль; б – план; 1 – дополнительная полоса; 2 – линия разметки, которая разрешает обгон; 3 – линия разметки, запрещающая обгон; 4 – участок отгона дополнительной полосы

Переходно-скоростные полосы предусматриваются на пересечениях и примыканиях в одном уровне в местах съездов на дорогах I-III категорий, в том числе к зданиям и сооружениям, располагаемым в придорожной зоне: на дорогах I категории при интенсивности 50 прив. авт/сут и более съезжающих или въезжающих на дорогу (соответственно для полосы торможения или разгона); на дорогах II и III категорий – при интенсивности 200 прив. авт/сут и более.

Минимально допустимой является такая ширина обочин, при которой остановившийся на ней автомобиль не перекрывает пределы проезжей части. Для большинства типов автомобилей этому условию удовлетворяет ширина 3,75 м, принятая для дорог I и II категорий.

Около проезжей части на дорогах I, II и III категорий с покрытиями капитального типа обочины укрепляют, устраивая краевые полосы шириной 0,75 м, а на дорогах III и IV категорий с облегченными покрытиями – шириной 0,5 м. При отличии цвета краевых полос от цвета покрытия они четко обозначают край покрытия и способствуют повышению дисциплины движения.

Ширину разделительной полосы на участках дорог, где в перспективе может потребоваться увеличение числа полос движения, следует увеличивать на 7,5 м против норм, приведенных в табл. 8.1, и принимать равной: для дорог I-а категории – не менее 13,5 м, для дорог I-б категории – не менее 12,5 м.

Поверхности разделительных полос в зависимости от их ширины, применяемых грунтов, вида укрепления и природно-климатических условий придается уклон к середине разделительной полосы или в сторону проезжей части. При уклоне поверхности разделительной полосы к середине для отвода воды следует предусматривать устройство специальных коллекторов.

8.5. Полоса отвода

Полоса местности, выделяемая для расположения на ней дороги, строительства вспомогательных сооружений и посадки придорожных зеленых насаждений, называется **полосой отвода**.

Основные принципы проектирования полосы отвода:

1) полоса отвода передается в распоряжение дорожных организаций и изымается из ведения тех землепользователей, за которыми была закреплена до строительства дороги;

2) ширину отводимой полосы земли ограничивают фактическими границами земельного полотна, увеличенными с каждой стороны на 1 м;

3) на ценных землях не разрешается устраивать боковые резервы и кавальеры. В порядке исключения отводят во временное пользование полосу для закладки неглубоких резервов с тем, чтобы при строительстве дороги был сохранен плодородный гумусный слой. После отсыпки насыпи резерв должен быть выровнен, покрыт растительным грунтом и приведен в состояние, пригодное для использования в сельском хозяйстве (рекультивация) (рис. 8.8);

4) дополнительные площади на ценных землях, необходимые для обслуживания дорожного движения, отводятся на основе детального технико-экономического обоснования.



Рис. 8.8. Схема приведения резервов в состояние, пригодное для сельскохозяйственных работ: а – профиль с кюветами-резервами; б – профиль с устройством мелкого резерва рядом с боковой канавой; 1 – размещение отвала растительного грунта во время строительства дороги; 2 – расстояние, обеспечивающее нормальную работу землеройных машин; 3 – слой укладываемого обратно растительного грунта; 4 – слой растительного грунта, удаляемый перед возведением насыпи

При современных методах механизированного строительства дорог нельзя обеспечить выполнение работ, ограничиваясь шириной самой *дорожной полосы*. Необходимы места для размещения удаленного растительного грунта, устройства временных дорог для перевозки материалов во время строительства, объездов во время перестройки дороги и т. д. Для этой цели в распоряжение строителей временно выделяют дополнительные площадки, которые по окончании работ должны быть возвращены землепользователям в состоянии, пригодном для сельскохозяйственных работ (временный отвод).

В табл. 8.2 приведены осредненные площади отвода земель для строительства автомобильной дороги на 1 км ее протяженности при поперечном уклоне местности менее 1:20. При уклонах от 1:20 до 1:10 площади постоянного отвода для дорог всех категорий, кроме III, увеличивают на 0,1 га, а дорог III категории – на 0,2 га.

Таблица 8.2 Осредненные площади отвода земель

Категория дороги	Число полос движения	Общая площадь полосы отвода, га/км, на землях			
		сельскохозяйственного назначения		непригодных для сельского хозяйства	
		Постоянный отвод	Временный отвод	Постоянный отвод	Временный отвод
I-а и I-б	8	6,3	1,8	7,4	2,3
	6	5,5	1,7	6,4	2,2
	4	4,7	1,6	5,5	2,1
II	2	3,1	1,4	3,9	2,0
III	2	2,6	1,3	3,6	2,0
IV	2	2,4	1,3	3,5	2,0
V	1	1,1	0,6	1,6	1,0

Таким образом, *средняя ширина полосы отвода* в зависимости от категории дороги колеблется от 63 до 11 м на плодородных сельскохозяйственных угодьях и от 74 до 16 м – на землях, не пригодных для сельского хозяйства.

9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

9.1. Общие требования

Земляное полотно (земполотно) проектируют в виде насыпей и выемок. Оно включает следующие элементы (рис. 9.1):

- 1) верхнюю часть земляного полотна 1 (рабочий слой – активная зона), которая расположена в пределах 1,5 м от поверхности покрытия;
- 2) нижнюю часть насыпи (ядро насыпи 4) – часть полотна, располагающаяся ниже рабочего слоя;
- 3) основание насыпи 3 (массив грунта, на поверхности которого возводится насыпь);
- 4) основание выемки 3' (массив грунта ниже границы рабочего слоя);
- 5) откосные части 2;
- 6) устройства поверхностного водоотвода;
- 7) устройства понижения или отвода грунтовых вод (дренаж);
- 8) поддерживающие и защитные геотехнические устройства и конструкции, предназначенные для защиты земляного полотна от опасных геологических процессов (эрозии, абразии, селей, лавин, оползней и т. п.).

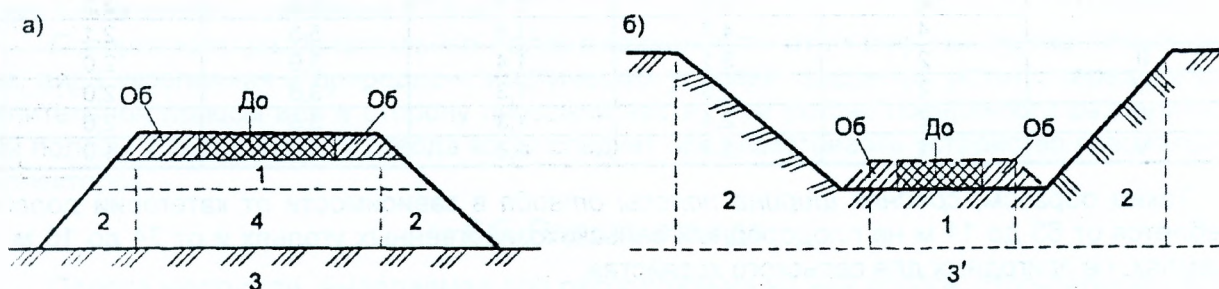


Рис. 9.1. Элементы земляного полотна: а – насыпь б – выемка; До – дорожная одежда; Об – обочина; 1 – верхняя часть земляного полотна (рабочий слой); 2 – откосные части; 3 – основание насыпи; 3' – основание выемки; 4 – ядро насыпи

При назначении конструкции земляного полотна учитывают:

- 1) категорию дороги;
- 2) тип дорожной одежды;
- 3) высоту насыпи и глубину выемки;
- 4) свойства грунтов, используемых в земляном полотне;
- 5) условия производства работ по возведению земляного полотна;
- 6) природные условия района строительства;
- 7) особенности инженерно-геологических условий участка строительства;
- 8) опыт эксплуатации дорог в данном районе;
- 9) обеспечение требуемых прочности, устойчивости и стабильности как самого земляного полотна, так и дорожной одежды, при наименьших затратах на стадиях строительства и эксплуатации, а также при максимальном сохранении ценных земель и наименьшем ущербе окружающей природной среде.

Основные требования к земполотну:

- 1) высота насыпей и глубина выемок определяется в результате проектирования продольного профиля;
- 2) наиболее рациональное решение получают при проектировании продольного профиля совместно с земляным полотном;
- 3) геометрическая форма земляного полотна и его конструкция должны способствовать снегонезаносимости, безопасности движения, а также отвечать эстетическим требованиям;
- 4) геометрические размеры основных элементов земляного полотна приведены на рис. 9.2 и в табл. 9.1;
- 5) при ремонте дорог на участках усиления покрытия геометрические размеры существующего земляного полотна могут быть сохранены;

- б) поперечный уклон земляного полотна принимают в соответствии с требованиями норм проектирования автомобильных дорог.

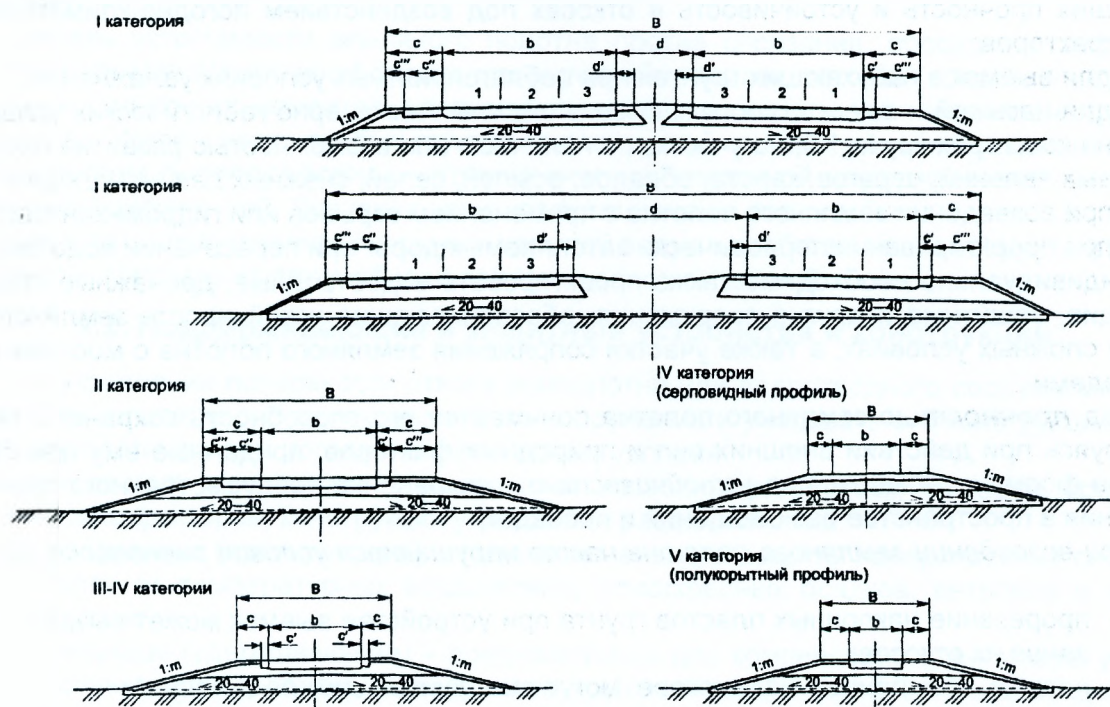


Рис. 9.2. Геометрические размеры основных элементов земляного полотна

Таблица 9.1. Геометрические размеры основных элементов земляного полотна

Категория дороги	Основные элементы дороги, м				Укрепленные полосы, м		Остановочные полосы на обочине, м, c''	Прочие виды укрепления обочин, м, c'''
	Земляное полотно B	Разделительная полоса d	Проезжая часть b	Обочины c	на разделительной полосе d'	на обочине c'		
I	27,5 (28,5)	5,0 (6,0)	3,75x4	3,75x2	1,0	0,75	2,5	3,0
II	15	—	3,75x2	3,75x2	—	0,75	2,5	3,0
III	12	—	3,5x2	2,5x2	—	0,5	—	2
IV	10	—	6,0	2x2	—	0,5	—	—
V	8	—	4,5	1,75	—	—	—	—

Примечание. В скобках приведены геометрические размеры для автомобильных дорог I-а категории.

При проектировании земляного полотна следует применять типовые или индивидуальные решения, в том числе типовые решения с индивидуальной привязкой. **Индивидуальные решения, а также индивидуальную привязку типовых решений** следует применять при соответствующих обоснованиях, то есть:

- 1) для насыпей с высотой откоса более 12 м;
- 2) для насыпей на участках временного подтопления, а также при пересечении постоянных водоемов и водотоков;
- 3) для насыпей, сооружаемых на болотах глубиной более 4 м с выторфовыванием или при наличии поперечных уклонов дна болота более 1:10;
- 4) для насыпей, сооружаемых на слабых основаниях;
- 5) при использовании в насыпях грунтов повышенной влажности;
- 6) при возвышении поверхности покрытия над расчетным уровнем воды менее указанного в п. 6.10 СНиП 2.05.02-85;
- 7) при применении прослоек из геотекстильных материалов;
- 8) при сооружении насыпей на просадочных грунтах;
- 9) для выемок с высотой откоса более 12 м в нескальных грунтах и более 16 м в скальных при благоприятных инженерно-геологических условиях;
- 10) для выемок в слоистых толщах, имеющих наклон пластов в сторону проезжей части;
- 11) для выемок, вскрывающих водоносные горизонты или имеющих в основании водоносный горизонт, а также в глинистых грунтах с коэффициентом консистенции более 0,5;

- 12) для выемок с высотой откоса более 6 м в пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения, а также в глинистых грунтах и скальных размягчаемых грунтах, теряющих прочность и устойчивость в откосах под воздействием погодно-климатических факторов;
- 13) для выемок в набухающих грунтах при неблагоприятных условиях увлажнения;
- 14) для насыпей и выемок, сооружаемых в сложных инженерно-геологических условиях: на косогорах круче 1:3, на участках с наличием или возможностью развития оползневых явлений, оврагов, карста, обвалов, осыпей, селей, снежных лавин, наледи и т. п.;
- 15) при возведении земляного полотна с применением взрывов или гидромеханизации;
- 16) при проектировании периодически затопляемых дорог при пересечении водотоков;

Индивидуально необходимо также проектировать водоотводные, дренажные, поддерживающие, защитные и другие сооружения, обеспечивающие устойчивость земляного полотна в сложных условиях, а также участки сопряжения земляного полотна с мостами и теплотрассами.

Под **прочностью** земляного полотна понимается его способность сохранять, не деформируясь при действии внешних сил и природных факторов, приданные ему при строительстве форму и размеры; под **устойчивостью** – сохранение предусмотренного проектом положения в пространстве без смещений и просадок.

При возведении земляного полотна часто нарушаются условия равновесия, при которых:

- 1) прорезание наклонных пластов грунта при устройстве выемок может вызвать *оползание* их откосов;
- 2) насыпи, отсыпанные на косогоре, могут *смещаться вниз по склону*;
- 3) торфяные и водонасыщенные илистые основания могут *выжиматься* из-под насыпи в сторону или *медленно сжиматься* под весом насыпи, отдавая насыщающую их воду;
- 4) возможны *деформации самой насыпи*, вызываемые, например, уплотнением насыпного грунта под влиянием природных воздействий, собственного веса и напряжений от проезжающих автомобилей (рис. 9.3);
- 5) деформации от уплотнения грунта возможны *в выемках и на участках с нулевыми отметками*, если подстилающий грунт в условиях естественного залегания недостаточно плотен (рис. 9.4).

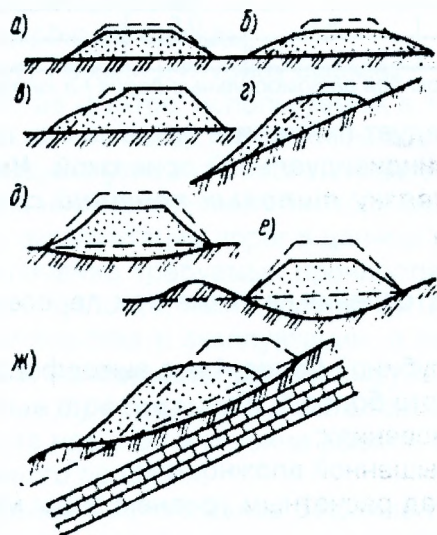


Рис. 9.3. Виды деформаций насыпей: а – осадка от уплотнения грунта в теле насыпи; б – деформация осадки от растекания переувлажненного грунта; в – оползание откоса насыпи; г – сползание насыпи по косогору; д – осадка со сжатием грунта основания; е – осадка, а иногда боковое смещение, из-за выжимания слабого основания; ж – смещение из-за оползания склона

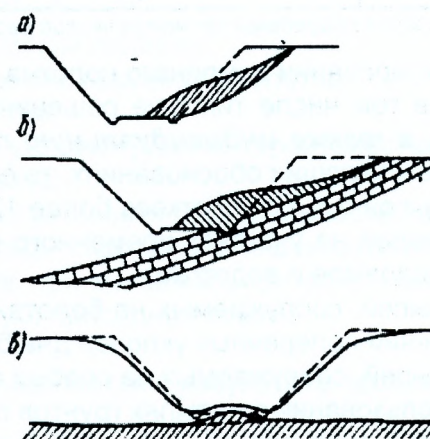


Рис. 9.4. Виды деформаций выемок: а – оползание откоса выемки в однородном грунте; б – то же при слоистом напластовании; в – выжимание слабого грунта на дне выемки под действием веса откоса

Методы расчета устойчивого земляного полотна основаны на закономерностях механики грунтов. При этом необходимо учитывать сложные особенности работы земляного полотна.

Степень устойчивости земляного полотна против сползания, просадки и других деформаций характеризуют **коэффициентом устойчивости**, который представляет собой отношение сил или их моментов, удерживающих насыпь, к силам или моментам, сдвигающим насыпь. Устойчивость слабых грунтов под нагрузкой от насыпей иногда оценивают **«коэффициентом безопасности»** – отношением максимальной выдерживаемой нагрузки к фактически приложенной. Значения этих коэффициентов должны быть более 1,0.

Расчеты устойчивости дорожных насыпей ведут на собственный вес грунта и дорожной одежды. Нагрузка от автомобилей является дополнительной.

9.2. Поддерживающие и защитные устройства и конструкции

Тип укрепления поверхности откоса земляного полотна или водоотводного сооружения должен отвечать условиям работы укрепляемого сооружения и учитывать его конструкцию, грунтовые, гидрологические и погодноклиматические условия.

По характеру восприятия временных и постоянных нагрузок, а также природноклиматические факторов, конструкции укрепления разделяются на:

- 1) **защитные** (изолирующие) – предназначены для защиты поверхностных слоев откосов от температурных воздействий, атмосферных осадков, ветровой и водной эрозии;
- 2) **несущие** (удерживающие) – предназначены для компенсации сдвигающих усилий, возникающих в поверхностных слоях грунта откоса, а также силовых воздействий паводковых и поверхностных вод на откосы пойменных насыпей.

При назначении *вида укрепления* следует разрабатывать варианты и учитывать условия и время производства работ по сооружению земляного полотна и его укреплению.

Подтопляемые откосы насыпей следует защищать от волнового воздействия соответствующими типами укреплений в зависимости от гидрологического режима реки или водоема (сборные или монолитные бетонные и железобетонные плиты, габионы, покрытие из утилизированных автомобильных шин).

При соответствующем технико-экономическом обосновании взамен укреплений допускается применять *уположение откосов* (пляжный откос). Крутизну устойчивого к водному воздействию откоса следует определять расчетом в зависимости от гидрологических и климатических условий и вида грунта насыпи. Ориентировочно крутизну пляжного откоса допускается принимать по табл. 26 СНиП 2.05.02-85 (от 1:5 до 1:10).

Основными укреплениями защитного (изолирующего) типа являются:

- 1) биологические типы укреплений (посев трав, одерновка, посадка кустарника и т.д.)
- 2) покрытие в клетку или сплошное покрытие из нетканого синтетического материала с семенами многолетних трав;
- 3) сборная решетка бортовых колец или использованных шин с заполнением ячеек растительным грунтом с посевом трав или каменным материалом;
- 4) монолитная или сборная бетонная решетка с заполнением ячеек щебнем.

При технико-экономическом обосновании для укрепления откосов допускается использовать *геотекстильные материалы*. На геотекстильном полотне, выходящем на поверхность, необходимо устраивать защитное покрытие путем обработки органическим вяжущим (битумной эмульсией) с расходом 0,5-1,0 кг/м².

При необходимости существенного повышения жесткости и уменьшения водопроницаемости геотекстильного покрытия в креплениях водоотводных сооружений необходимо предусматривать двух-, трехразовую обработку геотекстильного полотна вяжущим с посыпкой песком.

Защитные и удерживающие сооружения, применяемые при возведении земляного полотна, следует проектировать *индивидуально на основе специальных нормативных документов*. При этом необходимо учитывать условия их строительства и эксплуатации.

9.3. Дорожно-строительная классификация грунтов

Грунты, используемые в дорожном строительстве, подразделяются в соответствии с СТБ 943:

1. Грунты для верхней части земляного полотна. При этом следует дополнительно подразделять в соответствии с Пособием Д2-01 «Проектирование земляного полотна автомобильных дорог» по:

- составу (пылевато-глинистые и осадочные несцементированные грунты);
- набухаемости (набухающие (< 2), слабонабухающие (2-4), средненабухающие (4-10), сильнонабухающие (> 10) в зависимости от относительной деформации набухания, % толщины слоя увлажнения);
- относительной просадочности (непросадочные (< 2), слабопросадочные (2-7), просадочные (7-12), сильнопросадочные (> 12) в зависимости от относительной деформации набухания, % толщины слоя промачивания);
- склонности к морозному пучению – группы I-V (непучинистый (< 1), слабопучинистый (1-4), пучинистый (4-7), сильно пучинистый (7-10), чрезмерно пучинистый (> 10) в зависимости от относительного морозного пучения образца, %).

2. Грунты для сооружения насыпей и рабочего слоя подразделяются по степени увлажнения:

- недоувлажненные (менее $0,9W_0$);
- нормальной влажности ($0,9W_0-1,0W_0$);
- повышенной влажности ($W_{доп}-W_{max}$);
- переувлажненные (свыше W_{max}),

где W_0 – оптимальная влажность грунта; $W_{доп}$ – допустимая влажность грунта; W_{max} – максимально возможная влажность грунта при коэффициенте уплотнения 0,9.

3. Пылевато-глинистые грунты по содержанию песчаных частиц по массе и числу пластичности подразделяются на:

- супесь (легкая крупная, легкая, пылеватая, тяжелая пылеватая);
- суглинок (легкий, легкий пылеватый, тяжелый, тяжелый пылеватый);
- глина (песчанистая, пылеватая, жирная).

4. Осадочные несцементированные обломочные грунты по распределению частиц по крупности (в % от массы сухого грунта) для проектирования и сооружения земляного полотна подразделяются на следующие виды:

- крупнообломочные (валунный, галечниковый и гравийный грунты);
- песчаные (гравелистый, крупный, средней крупности, мелкий, пылеватый).

5. К подгруппе пылевато-глинистых грунтов относятся также *лессовидные грунты*, которые по числу пластичности делят на супеси, суглинки и глины (грунты с числом пластичности более 1, однородные, преимущественно макропористые, содержащие более 50 % частиц размером 0,05-0,005 мм, легко- и среднерастворимые соли и карбонаты кальция).

6. К подгруппе озерных грунтов относят илы – грунты с числом пластичности более 1, представляющие водонасыщенный осадок водоемов, имеющий влажность выше границы текучести и коэффициент пористости более 0,9.

7. Лессовидные грунты и илы делят на виды по коэффициенту пористости.

8. К особым грунтам следует относить: торфяные и заторфованные; сапропели, илы, лессы, мергели, тальковые, глинистые сланцы и сланцевые глины; черноземы; техногенные грунты (отходы промышленности).

9. К слабым грунтам следует относить связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модуль деформации ниже 5,0 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5.

10. К дренирующим следует относить грунты, имеющие при максимальной плотности при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733 коэффициент фильтрации не менее 0,5 м/сут.

Применительно к использованию для устройства земляного полотна различают следующие видов грунтов:

1. Крупнообломочные скальные грунты – обломки скальных пород, получаемые при искусственной разработке или залегающие в естественных условиях в виде аллювиальных или делювиальных отложений. Различают глыбовые (валунные) и щебенистые (галечниковые) грунты. Эти грунты являются хорошим материалом для возведения насыпей, поскольку они устойчивы против воздействия текущей воды и не поглощают влагу. Однако использование крупнообломочных скальных грунтов встречает затруднения из-за трудности их уплотнения. Между скальной отсыпкой и дорожной одеждой должен быть устроен переходный грунтовой слой толщиной 0,5 м.

2. Гравийные и песчаные грунты водопроницаемы и не склонны к накоплению влаги при промерзании. Насыщение водой мало влияет на устойчивость этих грунтов в земляном полотне. Песчаные грунты (за исключением мелких пылеватых песков) представляют собой *наилучший материал* для насыпей, возводимых в неблагоприятных гидрологических условиях – на заболоченных участках и на поймах рек.

3. Супесчаные грунты обладают связностью в сухом состоянии, при увлажнении они сохраняют сопротивление нагрузкам, достаточное для устойчивости земляного полотна. Насыпи из супесчаных грунтов можно устраивать как в сухих, так и в переувлажненных местах.

4. Пылеватые супесчаные грунты, содержащие более 50% частиц диаметром мельче 0,25 мм, менее устойчивы в переувлажненном состоянии. При промерзании они склонны к накоплению влаги и лучению.

5. Пылеватые суглинки и тяжелые пылеватые супеси, содержащие большое количество фракций размером 2,0-0,05 мм, особенно подвержены процессам зимнего влагонакопления и пучинообразования. В откосах земляного полотна эти грунты легко размываются и приходят в текучее состояние. Поэтому на дорогах с усовершенствованными капитальными типами покрытия верхнюю часть земляного полотна из пылеватых суглинков в неблагоприятных гидрологических условиях заменяют устойчивыми грунтами.

6. Суглинистые грунты являются *хорошим* материалом для земляного полотна. Они хорошо сопротивляются размыву и устойчивы в откосах. В пойменных суглинистых насыпях движение воды, ранее проникшей в насыпь, может вызвать гидродинамическое давление, приводящее к обрушению откосов.

7. Глинистые грунты обладают значительной связностью и очень малой водопроницаемостью, в связи с чем они медленно насыщаются водой и столь же медленно просыхают. Эти грунты применяют, если их влажность в условиях естественного залегания не превышает оптимальную, для отсыпки насыпей в сухих местах и в местах, увлажняемых на короткое время.

8. Торфы, образующиеся при отмирании болотной растительности, характеризуются значительной сжимаемостью и влагоемкостью. Использование их в земляном полотне *не допускается*, за исключением случаев укладки сильно волокнистых торфов в нижнюю часть насыпи на пересечениях торфяных болот на дорогах с переходными и низшими типами покрытий.

9. Илистые грунты, сапрпели и органо-минеральные в условиях естественного залегания отличаются значительной влажностью и малым сопротивлением сдвигу. Высокие грунты при повторном увлажнении быстро теряют связность и могут приходиться в плавунное состояние. Допускается при условии ряда ограничений оставлять их в основаниях насыпей с обязательной проверкой устойчивости.

9.4. Требования к плотности и влажности грунтов

Чтобы в теле насыпи *не возникало просадок* от уплотнения под действием собственного веса, давления проезжающих автомобилей и попеременного увлажнения и просыхания, пористость грунта должна соответствовать напряжениям, действующим внутри насыпи. Напряжения от собственного веса грунта возрастают пропорционально глубине расположения рассматриваемого слоя от поверхности покрытия. Внешняя нагрузка создает напряжения, затухающие на некоторой глубине от поверхности. При невысоких насыпях напряжения от транспортных нагрузок распространяются на подстилающий грунт и могут вызывать *его уплотнение и просадку насыпи*. В нижней части подталкиваемых водой насыпей могут действовать капиллярное давление, а также напряжения, развивающиеся при усадке грунта во время его просыхания после спада высоких вод.

Для определения необходимой степени уплотнения грунтов высоту насыпи разделяют на несколько зон. Требуемая степень уплотнения грунта в каждой из зон назначается в соответствии с действующими в ее пределах напряжениями и водно-тепловым режимом грунта. Требования к уплотнению грунтов земляного полотна нормируют по значению *плотности скелета грунтов* δ_n , которую выражают в долях от максимальной стандартной плотности δ_{max} , соответствующей так называемому стандартному уплотнению, выполняемому в лаборатории при оптимальной влажности грунта. Отношение δ_n/δ_{max} называют **коэффициентом уплотнения**.

Оптимальной влажностью называют влажность, при которой необходимое уплотнение грунта может быть достигнуто при меньшей работе на уплотнение по сравнению с другими влажностями. Эта влажность близка к среднему значению влажности грунта в резервах в период выполнения земляных работ.

Требования к уплотнению грунтов:

1) в верхнем слое насыпи («рабочий слой») толщиной до 1,5 м и в пределах зоны сезонного промерзания в выемках и основаниях низких насыпей до глубины 1,2 м действуют статические и динамические напряжения от проезжающих автомобилей, а также интенсивно протекают процессы увлажнения и просыхания грунта в круглогодичном цикле изменения водного режима земляного полотна. Уплотнение грунтов в этой зоне должно соответствовать для связных грунтов давлению внутренних сил, вызывающих усадку, а для супесей, легких суглинков и песков – как статическим, так и динамическим напряжениям от проезда автомобилей;

2) в средних слоях насыпей на расстоянии до 6 м от бровки при отсутствии подтопления и ниже слоя сезонного промерзания в выемках водный режим грунта относительно постоянен, а напряжения от внешней нагрузки и собственного веса грунта меньше, чем в рабочем слое. В пределах этой зоны может быть допущена несколько меньшая степень уплотнения грунта, чем в верхних слоях;

3) для нижних слоев насыпей на глубине от бровки более 6 м, где грунт при кратковременных подтапливаниях может подвергаться капиллярному увлажнению и последующему просыханию, к степени уплотнения грунтов предъявляются требования, близкие к требованиям к верхним слоям насыпей;

4) в насыпях на участках, подтапливаемых водой длительное время, нижние слои, постоянно расположенные ниже уровня воды, работают в условиях сжатия под влиянием веса вышерасположенных слоев насыпи и внешней нагрузки. В них устанавливается степень уплотнения, соответствующая компрессионной зависимости.

В связи с различием в условиях работы грунтов в разных слоях насыпи и в зависимости от типа укладываемой на нее дорожной одежды требования к коэффициенту уплотнения насыпей меняются от 0,92 до 1,0 (табл. 22 СНиП 2.05.02-85).

9.5. Дорожно-климатическое районирование

Природные условия района строительства дороги характеризуются комплексом погодноклиматических факторов с учетом деления территории Республики Беларусь на три дорожно-климатических района в соответствии с табл. 9.2 и рис. 9.5.

Внутри районов в зависимости от рельефа, почвенно-грунтовых, геологических и гидрологических условий выделяют участки местности по характеру и степени увлажнения, делящиеся на три типа: 1 – сухие участки; 2 – сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года; 3 – мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением.

Характеристика выделенных участков приведена в табл. 9.3.

Табл. 9.2. Дорожно-климатические районы

Дорожно-климатические районы	Примерные географические границы	Краткая характеристика дорожно-климатического района
1	2	3
1 Северный	Севернее линии Поставы – Борисов – Кричев	Распространяется в пределах Поозерского оледенения, характеризуется холмисто-моренным рельефом, относительно прохладным климатом с суммой градусо-дней мороза 614-808, средней годовой температурой воздуха 4,4-5,3°С, годовым количеством осадков 750-860 мм и возможностями испарения, не превышающими 600 мм в год

Продолжение таблицы 9.2

1	2	3
2 Центральный	Южнее границы 1-го района до линии Щучин – Старобин – Гомель	Распространяется в пределах Сожского оледенения, занимает Белорусскую гряду и прилегающие к ней возвышенное плато, равнины и гряды, климат мягкий, с суммой градусо-дней мороза 387-740, средней годовой температурой 5,3-6,5°C, годовым количеством осадков 650- 750 мм и возможностью испарения порядка 635 мм в год
3 Южный	Южнее границы 2-го района	Распространяется в пределах Днепровского оледенения, занимает Полескую низменность, характеризуется равнинным, сильно пониженным, заболоченным рельефом, климат теплый с суммой градусо-дней мороза 319-646, средней годовой температурой воздуха 6,5-7,4°C, годовым количеством осадков 600-650 мм, и возможностями испарения 650-700 мм в год

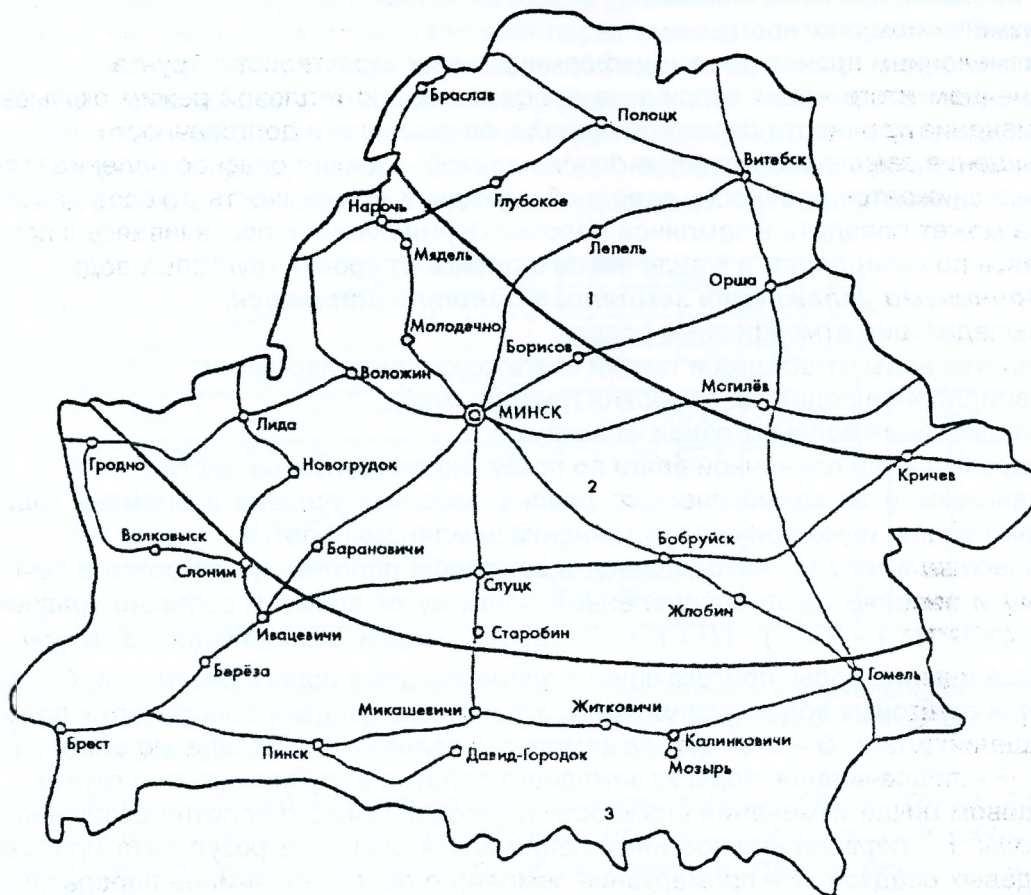


Рис. 9.5. Дорожно-климатическое районирование Беларуси: 1 – северный, влажный; 2 – центральный, умеренно-влажный; 3 – южный, неустойчиво-влажный

Табл. 9.3. Типы местности по характеру и степени увлажнения

Тип местности	Источники увлажнения	Характерные признаки
1. Сухие участки	Атмосферные осадки	Поверхностный сток обеспечен. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почвы без признаков заболачивания
2. Сырые участки	Кратковременно стоящие (до 30 сут) поверхностные воды; атмосферные осадки	Поверхностный сток не обеспечен. Рельеф местности равнинный. Весной и осенью возможен застой воды на поверхности. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почва с признаками заболачивания
3. Мокрые участки	Грунтовые или длительные (более 30 сут) поверхностные воды; атмосферные осадки	Источники увлажнения оказывают влияние на увлажнение почв и грунтов независимо от условий поверхностного стока. Почвы заболоченные

Примечания. 1. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов в случае, если их уровень в предморозный период залегает ниже глубины промерзания не менее, чем на 2,0 м при глинах, суглинках тяжелых пылеватых и тяжелых; на 1,5 м – в суглинках легких пылеватых и легких, супесях тяжелых пылеватых и пылеватых; на 1,0 м – в супесях легких, легких крупных и песках пылеватых. 2. Поверхностный сток считается обеспеченным при уклонах поверхности грунта в пределах полосы отвода более 2‰.

9.6. Водно-тепловой режим земляного полотна и способы его регулирования

Под *водно-тепловым режимом* земляного полотна понимают характер изменения во времени влажности и температуры грунта под воздействием погодно-климатических факторов, влияющих на рабочий слой. Изменение влажности и температуры сопряжено (обуславливает интенсификацию) со *вторичными процессами*:

- набуханием и усадкой;
- морозным пучением;
- просадкой при оттаивании;
- просадкой при замачивании;
- изменением плотности;
- изменением прочностных и деформационных характеристик грунта.

В конечном итоге через вторичные процессы водно-тепловой режим оказывает влияние на изменение прочности *дорожной одежды*, ее ровности и долговечности.

Насыщение земляного полотна дороги влагой – крайне опасное явление, так как при этом сильно снижается прочность дорожной одежды и устойчивость откосов насыпей и выемок. Вода может попадать в земляное полотно *двумя путями*: просачиваясь с поверхности и поднимаясь по капиллярам и в виде паров и пленок от уровня грунтовых вод.

Источниками увлажнения земляного полотна являются:

- 1) выпадающие атмосферные осадки;
- 2) приток воды от дождей и таяния снега со склонов местности;
- 3) капиллярное поднятие от уровня грунтовых вод;
- 4) конденсация водяных паров из воздуха;
- 5) перемещение пленочной влаги по поверхности грунтовых частиц.

В зависимости от климатического района, местных условий и времени года обычно преобладают те или иные причины увлажнения земляного полотна.

Количество влаги W , находящееся в земляном полотне, не остается в течение года постоянным и изменяется за определенный промежуток времени согласно уравнению водного баланса $W = (A + B + C) - (D + E + F)$, где A – осадки, выпадающие на земляное полотно; B – просачивание воды, притекающей с прилегающей к дороге местности; C – приток воды от уровня грунтовых вод по капиллярам, а также в результате пленочного и парообразного перемещения влаги; D – сток воды с земляного полотна; E – испарение влаги с поверхности грунта; F – просачивание воды из земляного полотна в глубинные слои грунта.

В годовом цикле изменения влажности грунтов земляного полотна различают *следующие периоды*: I – первоначальное накопление влаги осенью в результате просачивания в грунт дождевых осадков; II – промерзание земляного полотна и зимнее перераспределение влаги; III – оттаивание земляного полотна и весеннее переувлажнение грунта; IV – летнее просыхание земляного полотна.

На изменения водного режима земляного полотна, помимо атмосферных осадков, значительное влияние оказывают *колебания температуры в течение года*, создающие в теле земляного полотна *температурные градиенты*.

В процессе замерзания в теле земляного полотна создается разность температур в пределах от 4–6°C выше нуля у уровня грунтовых вод до отрицательных температур в промерзшем верхнем слое грунта. Под влиянием разности температур влага начинает перемещаться от теплого грунта к границе промерзания.

Существует несколько путей перемещения воды в промерзающем грунте:

1) *перемещение влаги по пленкам*, обволакивающим грунтовые частицы, от более теплых частиц к более холодным, которые обладают большей поверхностной энергией;

2) *путем конденсации* на поверхности охлажденных грунтовых частиц водяных паров, приносимых содержащимся в грунте воздухом из теплых нижних слоев при конвекционной циркуляции в порах грунта. Парообразное перемещение влаги прекращается при влажности грунта, близкой к капиллярной влагоемкости, когда капилляры начинают замыкаться кольцами менисков воды;

3) *по тонким капиллярам*, из которых незамерзающая вода всасывается в мерзлую часть грунта к центрам кристаллизации.

В пределах промерзшей толщи грунта вода в капиллярах замерзает при температуре минус $0,2^{\circ}\text{C}$. При понижении температуры ниже 0°C вода, замерзая, образует в отдельных крупных порах кристаллы льда.

Количество воды, подтянутой к растущим ледяным кристаллам, бывает тем большим, чем дольше продолжается процесс постепенного промерзания грунта, т. е. чем более длительный период времени температура какого-либо слоя грунта находится в пределах от 0 до минус 3°C . При быстром промерзании грунта количество влаги, которое успевает подойти к каждому центру кристаллизации, невелико, так как по мере опускания границы промерзания в грунте возникают новые центры кристаллизации, к которым направляется поток влаги. Горизонты накопления ледяных прослоек обычно соответствуют периодам оттепелей, когда границы промерзания удерживаются на одном уровне.

Растущие ледяные кристаллы, заполняя поры, имеющиеся в грунте, образуют ледяные прослойки, которые раздвигают грунтовые частицы и вызывают поднятие (пучение) грунта (рис. 9.6), приводящее к появлению взбугриваний. При весеннем оттаивании грунта сопротивление оттаявшего сильно увлажненного грунта земляного полотна нагрузкам резко снижается. На дорогах, где дорожная одежда имеет недостаточную прочность, возникают характерные деформации, связанные с проломами дорожной одежды (весенние пучины).

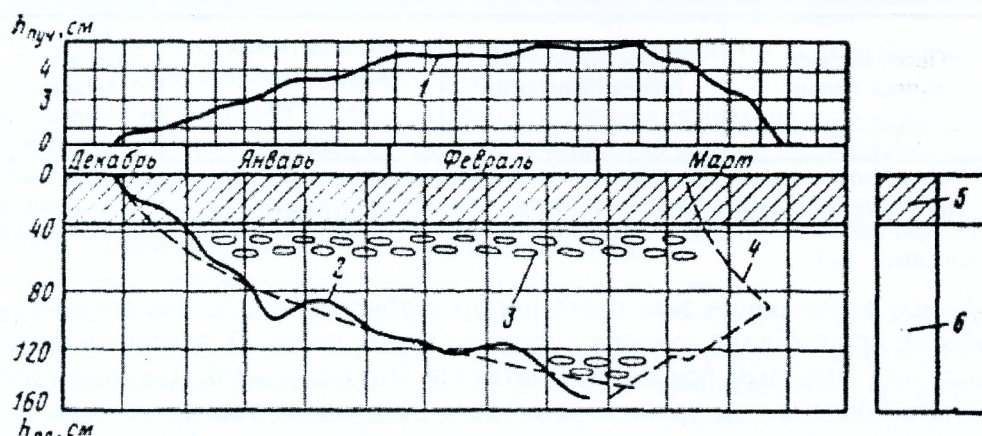


Рис. 9.6. Увеличение глубины промерзания и вспучивания грунта в течение зимнего периода: 1 – вспучивание покрытия; 2 – промерзание грунта земляного полотна; 3 – линзы льда; 4 – оттаивание грунта; 5 – дорожная одежда; 6 – грунт земляного полотна

Сопротивление, оказываемое весом расположенных выше слоев грунта, затрудняет накопление льда и противодействует образованию ледяных прослоек. Поэтому с увеличением глубины промерзания интенсивность образования в грунте ледяных кристаллов уменьшается. Глубину, на которой кристаллы практически перестают образовываться, называют критической глубиной промерзания.

Процесс перемещения влаги и ее накопление в мерзлом грунте наиболее интенсивно протекает в пылеватых грунтах с большим содержанием частиц размером от 0,05 до 0,002 мм. В этих грунтах поверхность грунтовых зерен достаточно развита, чтобы обеспечить подтягивание к центрам кристаллизации большого количества пленочной воды. Поры грунта также достаточно крупны, чтобы в них происходило и парообразное перемещение влаги.

В грунтах с большим содержанием глинистых частиц вода перемещается замедленно, поскольку в тончайших порах глинистых грунтов вязкость связанной воды очень велика, а микроструктура грунтов создает значительные сопротивления для перемещения влаги.

В зависимости от источников увлажнения земляного полотна может происходить по одной из трех схем.

1. Сухие местности с обеспеченным стоком поверхностных вод, глубоким залеганием уровня грунтовых вод и относительно малым количеством осадков.

2. Районы с достаточным количеством осадков и затрудненным стоком воды от земляного полотна.

3. В местностях с близким от поверхности стоянием уровня грунтовых вод (постоянно сырые места) осенняя влажность грунта может быть принята равной капиллярной влагоемкости грунта.

Источники увлажнения верхних слоев земляного полотна и продолжительность их действия зависят от *гидрологических условий и климата*. Методы расчета количества воды, поступающей в верхние слои земляного полотна во время промерзания, дают принципиальную возможность рассчитать наиболее рациональное из экономических соображений возвышение бровки земляного полотна.

Принципиальные основы этой методики заключаются в следующем.

Сопротивление грунта нагрузкам зависит от его влажности. Чем большее количество влаги проникнет в верхние слои земляного полотна в зимний и весенне-осенний периоды, тем сильнее снижается прочность грунта, а, следовательно, требуется более мощная дорожная одежда.

Чем выше насыпь, тем больше путь перемещения воды, проникающей в промерзающую зону, и, следовательно, меньше весенняя влажность. При этом уменьшается стоимость дорожной одежды, но увеличиваются затраты на сооружение земляного полотна. Наиболее рациональна высота насыпи, при которой стоимость строительства дороги является наименьшей. Определенные из таких соображений минимальные возвышения бровки земляного полотна для условий Беларуси приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4. Минимальные возвышения поверхности бровки земляного полотна над уровнем воды

Грунт насыпи	Песок мелкий, супесь легкая	Песок пылеватый, супесь пылеватая	Супесь легкая, суглинок тяжелый, глины	Супесь тяжелая пылеватая, суглинки легкие и тяжелые пылеватые
h_{\min} , м	1,1/0,9	1,5/1,2	2,2/1,6	2,4/1,8

Примечание. В числителе – наименьшее допустимое возвышение поверхности дорожной одежды над уровнем грунтовых или длительно застаивающихся (более чем 30 сут) поверхностных вод; в знаменателе – то же над поверхностью земли на участках с необеспеченным водоотводом или над уровнем кратковременно стоящих поверхностных вод.

Необходимое возвышение земляного полотна обусловлено также *высотой снежного покрова*. Чтобы не происходило заносов дороги во время метелей, земляное полотно должно возвышаться над снеговым покровом. Считается, что в открытой местности возвышение бровки земляного полотна над уровнем снегового покрова, определенным по данным метеорологических станций, при вероятности превышения 5%, должно быть не менее:

категория дороги	I	II	III	IV	V;
возвышение бровки, м	1,2	0,7	0,6	0,5	0,4.

На водно-тепловой режим земляного полотна влияют следующие природные факторы:

- 1) *рельеф местности*, обуславливающий применяемые при выборе трассы продольные уклоны и необходимость развития линии по склонам, обхода заболоченных и затапливаемых мест. От рельефа местности зависит количество воды, притекающей к малым мостам и трубам. Водно-тепловой режим земляного полотна в горной и сильно пересеченной местностях зависит от экспозиции склонов, по которым проложена дорога;
- 2) *геологические условия*, характеризующие степень устойчивости горных пород в районе проложения трассы;
- 3) *климатические условия*, оказывающие особенно большое влияние на условия эксплуатации дорог. К ним относятся амплитуда и скорость колебания температуры, максимумы и минимумы температуры, количество осадков и испарение, направление и скорости ветров, мощность снегового покрова, глубина промерзания. Климатические условия часто ограничивают продолжительность строительного сезона или требуют применения специальных способов производства работ, удорожающих и осложняющих их выполнение;
- 4) *гидрологические и гидрогеологические условия*, характеризующиеся количеством выпадающих осадков, условиями стока и испарения воды, толщиной снегового покрова и интенсивностью весеннего таяния, глубиной залегания грунтовых вод и особенностями их режима, режимом рек и ручьев. Все эти условия подлежат учету при проектировании водоотвода и при выборе конструкции земляного полотна.

При оценке влияния природных факторов на условия строительства и последующей работы автомобильной дороги следует учитывать обратную зависимость – изменение при-

родных условий в результате строительства дороги. Так, например, вырубка древесно-кустарниковой растительности на полосе отвода и расчистка придорожной полосы способствуют ее осушению, более глубокому промерзанию грунта зимой и более быстрому оттаиванию весной. Пересечение болота насыпью, сжимающей торф, может прервать просачивание грунтовых вод и изменить процесс заболачивания.

Для сопоставления климатических условий района проложения дороги в отдельные периоды года строят *график климатических характеристик (дорожно-климатический график)*, на котором отмечают годовое изменение температуры, количество выпадающих осадков, глубину промерзания и высоту снегового покрова и другие характеристики, которые могут оказаться полезными при конструировании элементов дороги и организации строительства.

Сущность учета водно-теплового режима при проектировании земляного полотна заключается в том, чтобы при возникающем в конструкции водно-тепловом режиме обеспечить заданную прочность и устойчивость (стабильность) рабочего слоя. При этом могут быть реализованы **два принципа проектирования**:

- 1) проектирование, исходя из заданного тем или иным способом уровня прочности и стабильности рабочего слоя (например, уровня, обеспечивающего возможность применения заданной типовой конструкции дорожной одежды);
- 2) проектирование конструкции рабочего слоя совместно с конструкцией дорожной одежды в целях оптимизации проектного решения.

Для создания в процессе эксплуатации сооружения оптимального водно-теплового режима необходимо его регулирование. *Наиболее простой метод регулирования* предусматривает выполнение одновременно трех условий:

- 1) применение в пределах рабочего слоя грунтов, обладающих повышенной устойчивостью к воздействию погодно-климатических факторов;
- 2) обеспечение требуемой степени уплотнения этих грунтов;
- 3) обеспечение требуемого возвышения земляного полотна над расчетным уровнем подземных и поверхностных вод или над уровнем земли (на участках местности 3-го типа).

При выполнении указанных трех условий специальных расчетов водно-теплового режима не требуется. При невозможности или нецелесообразности выполнения всех трех условий необходимость и характер специальных мероприятий по учету водно-теплового режима устанавливают в результате расчетов (раздел 6 Пособия П2-01).

К *специальным мероприятиям* по регулированию водно-теплового режима относят конструктивно-технологические решения, предусматривающие:

- 1) ограничение увлажнения от различных источников (повышение требований к обочине и разделительной полосе, увеличение поперечных уклонов, устройство боковых канав (кюветов), гидроизолирующих и капиллярпрерывающих прослоек, дренажей глубокого заложения);
- 2) улучшение свойств грунта в верхней части рабочего слоя (улучшение зернового состава грунтов, укрепление их вяжущими);
- 3) отвод воды (устройство прослоек, дренажей мелкого заложения);
- 4) регулирование теплового режима (устройство теплоизолирующих слоев).

Снижение увлажнения земляного полотна за счет повышения требований к обочине и разделительной полосе достигается:

- 1) *присыпкой обочин и разделительной полосы* дренирующими песчаными грунтами;
- 2) устройством лотков, водосборных колодцев и поперечных труб, способствующих отводу поверхностных вод за пределы проезжей части и уменьшающих накопление влаги в активном слое земляного полотна;
- 3) укреплением верхней части обочин и разделительной полосы.

При невозможности поднять бровку земляного полотна до указанной высоты постоянство водного режима верхней части земляного полотна может быть обеспечено устройством внутри земляного полотна *изолирующих прослоек*, прерывающих перемещение влаги, при обеспечении отвода воды от дождей и таяния снега. Это создает благоприятный водный режим верхней части земляного полотна, хотя грунт, расположенный ниже прослойки, будет при этом оставаться переувлажненным.

Изолирующие прослойки бывают двух видов (рис. 9.7):

1) **гидроизолирующие** – прерывающие все виды перемещений влаги – капиллярное, пленочное и парообразное (рис. 9.7а). Их устраивают из синтетических нетканых материалов (*геотекстиля*), обработанных органическими вяжущими материалами для придания водонепроницаемости. Ранее для этой цели использовали также грунт (3-8 см), обработанный битумом или другими гидрофобными материалами, полиэтиленовую пленку, толь;

2) **капилляропрерывающие** – прерывающие только капиллярное поднятие (рис. 9.7б). Их устраивают из крупнозернистых, хорошо фильтрующих материалов (гравия, щебня или гравелистого песка). Толщина этих прослоек обычно не менее 15-20 см и должна превышать высоту капиллярного поднятия. Чтобы не происходило заиливания материала прослоек вымываемыми водой более мелкими частицами грунта, прослойки необходимо изолировать сверху и снизу слоями обыкновенного (водопроницаемого) геотекстиля или, по крайней мере, слоями грунта с частицами промежуточной крупности (супесь, мелкий гравий), задерживающими мелкие частицы.

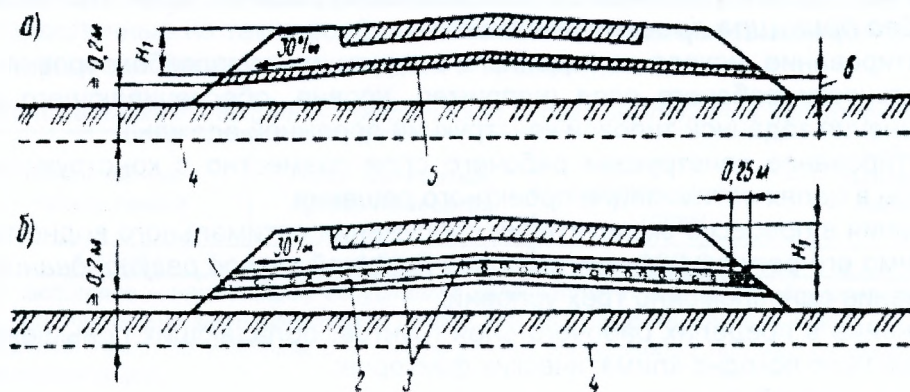


Рис. 9.7. Прослойки земляного полотна: 1 – щебень; 2 – крупнозернистая прослойка; 3 – противо-заиливающие прослойки; 4 – уровень грунтовых вод; 5 – слой грунта, обработанного органически-ми вяжущими материалами, или прослойки водонепроницаемых синтетических материалов; 6 – возвышение над горизонтом поверхностных вод не менее 0,2 м

Гидроизолирующие прослойки устраивают под дорожной одеждой на всю ширину земляного полотна, чтобы не допустить увлажнения от атмосферных осадков, проникающих под дорожную одежду или на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия, но не ниже 0,2 м от поверхности земли. Если увлажнение рабочего слоя происходит от всех трех источников увлажнения (осадки, грунтовые и поверхностные воды), то устраивают две гидроизолирующие прослойки, заключая грунт в верхней части земляного полотна в обойму (рис. 9.7б).

Капилляропрерывающие прослойки устраивают для ограничения притока влаги в верхние слои земляного полотна от грунтовых или поверхностных вод на глубину не менее 1,2 м от верха покрытия и не менее 0,2 м над уровнем грунтовых вод.

Гидроизолирующие и капилляропрерывающие прослойки необходимо предусматривать:

- 1) при целесообразности снижения высоты насыпи на отдельных участках дороги;
- 2) для снижения объема земляных работ;
- 3) для уменьшения толщины морозозащитного и дренирующего слоя;
- 4) для уменьшения мощности основания дорожной одежды за счет увеличения расчетных показателей грунтов земляного полотна, имеющих более низкую влажность.

Окончательное решение о применении гидроизолирующих и капилляропрерывающих прослоек принимают на основании технико-экономического расчета.

Применяемые прослойки должны соответствовать действующим нормативным документам и отвечать следующим требованиям:

- выдерживать без повреждения нагрузки, возникающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев, а также при движении автомобилей по дороге;
- противостоять воздействию неравномерного морозного пучения и осадки грунтов без разрывов и проломов;
- не изменять существующих свойств при различной степени влагонакопления и температуре;

– не заиливаться, не подвергаться разрушающему воздействию микроорганизмов и агрессивных вод;

– их устройство должно быть технологичным.

Прослойки предусматриваются:

– в основании насыпей на слабых грунтах;

– в теле насыпей для повышения устойчивости откосов;

– в качестве защитного фильтра в дренажных конструкциях;

– в качестве дрен, обеспечивающих отвод воды из водонасыщенного массива грунта;

– как разделяющая прослойка на контакте слоев грунта или зернистых материалов с различным гранулометрическим составом (препятствующая перемешиванию материалов слоев);

– в основании технологических проездов на грунтах с низкой несущей способностью.

Наряду с заменой глинистого грунта в верхней части рабочего слоя земляного полотна на менее пучинистый, могут применяться мероприятия по улучшению свойств грунта путем введения гранулометрических добавок, обработкой вяжущими и другими материалами. В качестве вяжущих могут применяться наряду с битумом, цементом, известью, отходы и побочные продукты промышленности (зола уноса, цементная пыль, шлаки и др.).

Для отвода воды, поступающей сверху от атмосферных осадков и снизу от грунтовых вод, применяют *дренирующие прослойки*. Рекомендуется также применение прослоек, совмещающих функции дренирования, разделения вышележащих слоев дорожной одежды и грунтов, а также армирования земляного полотна и снижения неравномерности пучения.

Дренирующие прослойки укладывают непосредственно под дорожную одежду по всей ширине земляного полотна с выпусками полотнищ на откосы или в дренаж на 0,5-1,0 м. Их устраивают из нетканых синтетических материалов (геотекстиля), способных фильтровать воду в поперечном направлении в плоскости холста. Коэффициент фильтрации таких материалов должен быть не ниже 30 м/сут с учетом заиливания.

Для устройства *теплоизолирующих слоев* применяют материалы с более эффективными теплоизолирующими свойствами, чем у грунтов и обычных дорожно-строительных материалов.

При близком залегании грунтовых вод или при длительно застаивающихся поверхностных водах рекомендуется использовать материалы с низким коэффициентом теплопроводности, например, *пенопласт*, позволяющий при небольшой толщине слоя (до 10-15 см) полностью предотвратить промерзание грунтов земляного полотна и уменьшить миграцию влаги в верхние слои рабочего слоя в зимний период, исключить морозное пучение грунтов. В других случаях могут быть использованы легкие бетоны, теплоизоляционные композиции из укрепленных вяжущим местных материалов (грунтов) или отходов промышленности, заполнителей (перлит, аглопорит, гранулы полистирола и измельченные отходы пенопласта, керамзит и др.), которые способствуют снижению глубины промерзания земляного полотна и уменьшению неравномерности морозного пучения.

При использовании для строительства насыпей грунтов различного состава и свойств необходимо соблюдать определенные **правила размещения их в теле насыпи**, обеспечивающие устойчивость земляного полотна (рис. 9.8):

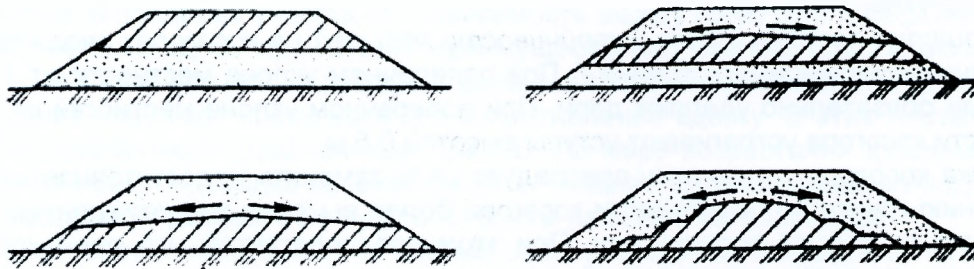


Рис. 9.8. Размещение в земляном полотне водонепроницаемого и водопроницаемого грунтов (точками показан водопроницаемый грунт, штриховкой – водонепроницаемый)

1) верхний слой земляного полотна («рабочий слой»), на который передается давление от проезжающих транспортных средств, до глубины 1,2 м от поверхности цементобетонной дорожной одежды;

тонных и 1,0 м асфальтобетонных покрытий во II дорожно-климатической зоне (Беларусь) должен состоять из грунтов, не подверженных пучению или слабопучинистых грунтов.

2) разнородные грунты следует размещать в теле насыпи горизонтальными слоями. Менее водопроницаемые грунты располагают в нижних слоях, хорошо дренирующие – в верхних. Исключением являются случаи, когда дренирующий грунт предназначен для прерывания капиллярного поднятия воды в насыпь из переувлажненного основания.

3) поверхностям слоев водонепроницаемых грунтов необходимо придавать двухскатный поперечный профиль с уклоном 20-40‰, что способствует стоку из насыпи просачивающейся воды; из слоев водопроницаемых грунтов должен быть обеспечен вывод воды на откосы.

4) грунты и промышленные отходы, подверженные изменениям объема или теряющие устойчивость при увлажнении, следует располагать в средней по высоте части насыпей, перемежая их отдельными тонкими прослойками песка или фильтрующих нетканых синтетических материалов – *геотекстиля*. Насыпи в виде замкнутого ядра из одного грунта, прикрытого сверху и с боков другим грунтом, допускаются лишь при уширении земляного полотна при реконструкции дорог. Не разрешается уширение водонепроницаемым грунтом насыпей, построенных из дренирующего грунта.

5) воспрещается бессистемная, случайная отсыпка различных по свойствам грунтов. При такой отсыпке в теле насыпи могут образоваться линзы, в которых может скапливаться вода или наклонные поверхности, по которым при увлажнении возможно оползание.

9.7. Оценка устойчивости земляного полотна

Насыпь, возведенная на косогоре, может сползти вниз, если направленная параллельно косогору составляющая ее веса окажется больше силы трения, удерживающей насыпь на месте (рис. 9.9).

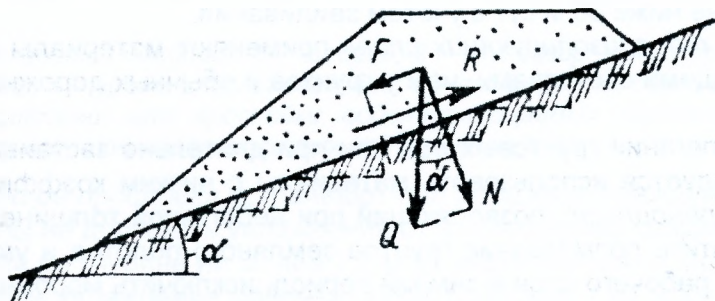


Рис. 9.9. Силы, действующие на насыпь на косогоре

Согласно расчетной схеме на рис. 9.9, удерживающая сила – $R = Q \cdot f \cdot \cos \alpha$, где Q – вес насыпи, N ; f – коэффициент трения насыпного грунта по поверхности косогора; α – уклон наклона косогора, а сила, сдвигающая насыпь – $F = Q \cdot \sin \alpha$.

Отсюда коэффициент устойчивости насыпи против сдвига $K_y = \frac{R}{F} = \frac{Qf \cos \alpha}{Q \sin \alpha} = \frac{f}{i}$, где

i – поперечный уклон косогора.

Мероприятия по повышению устойчивости насыпей на косогорах сводятся к увеличению значения коэффициента трения f . При поперечном уклоне местности от 1:10 до 1:5 из-под насыпи обязательно удаляют дерн. При поперечном уклоне местности от 1:5 до 1:3 на поверхности косогора устраивают уступы высотой 0,5 м.

*Разделка косогора ступенями преследует цель заменить недостаточное сопротивление скольжению грунта по поверхности косогора более высоким сопротивлением срезу насыпного грунта по той же поверхности. При этом предполагается, что грунт косогора настолько прочен, что срез может произойти только по сечению насыпного грунта. На косогорах, сложенных из песков или слабосвязных щебенистых грунтов, устройство уступов не достигает цели. В подобных случаях, а также при уклоне местности более 1:3, для обеспечения устойчивости насыпи необходимо возводить подпорные стены или отсыпать *контр-банкет*ы.*

Если насыпь возведена на наклонных напластованиях, залегающих на устойчивых горных породах, подстилающий грунт в результате нагрузки от веса насыпи может оползти. Аналогичное явление может наблюдаться при подрезании откосом выемки наклонных слоев грунта.

При этом проверка устойчивости сводится к выделению в оползающей части массива в соответствии с очертаниями поверхности скольжения вертикальных отсеков таким образом, чтобы основание отсека можно было принять прямолинейным, и к оценке устойчивости каждого из отсеков под влиянием собственного веса и передающегося давления смежных отсеков. Каждый отсек рассматривается как затвердевший массив.

Насыпи, возведенные на слабых основаниях (торфах, сапропелях, илах, мокрых солончаках, лессовых грунтах, переувлажненных глинистых грунтах и др.), могут *значительно проседать* из-за уплотнения грунта основания и его выжимания в стороны из-под насыпи. Деформации чаще всего происходят в период строительства или вскоре после возведения насыпи, но в некоторых случаях могут возникать и во время последующей эксплуатации, например при длительной стоянке тяжелых транспортных средств на насыпях, отсыпанных на болоте, или в результате застоя воды около насыпей на просадочных грунтах.

К слабым относят *грунты*, которые теряют устойчивость под действием собственного веса в откосах выемок типового поперечного профиля и под давлением насыпей в их основаниях, а также претерпевают значительные и медленно протекающие осадки. К их числу относят грунты, имеющие при угле внутреннего трения φ , близком к нулю, сопротивление сдвигу не более 0,075 МПа, и модуль деформации $E \leq 5,0$ МПа.

Зависимость между давлением на грунт и его просадкой в общем виде выражается кривой, представленной на рис. 9.10а.

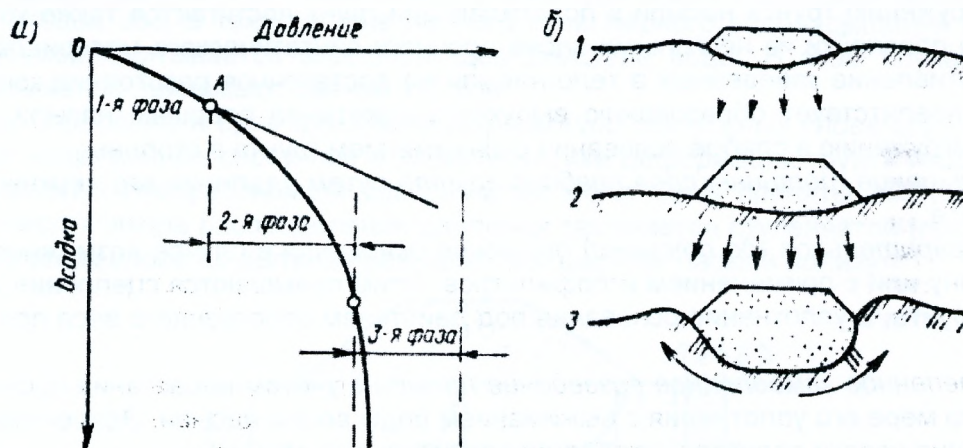


Рис. 9.10. Зависимость между нагрузкой и деформацией: а – кривая зависимости между нагрузкой и деформацией; б – деформация насыпей на слабом грунте, соответствующие разным фазам инфорации; 1 – 1-я фаза (уплотнение); 2 – 2-я фаза (уплотнение и боковые сдвиги); 3 – 3-я фаза (резкая просадка, вызываемая боковым выпиранием грунта основания) (стрелками показано преимущественное направление перемещения грунта при деформации)

На этой кривой могут быть выделены участки, характеризующие разные фазы процесса деформации. В пределах участка ОА зависимость между нагрузкой и деформацией близка к прямолинейной, здесь происходит преимущественно сжатие подстилающего грунта. При дальнейшем возрастании нагрузки в отдельных точках подстилающего грунта касательные напряжения начинают превышать его сопротивление сдвигу. В этих местах возникают пластические деформации (деформации сдвига). По мере возрастания давления число таких мест увеличивается, осадка насыпи растет и начинается выжимание из-под нее грунта, сопровождающееся образованием бугров по бокам насыпи и ее просадкой.

При проектировании насыпей на слабых основаниях в зависимости от назначения насыпей предусматривают *работу оснований в следующих фазах*:

- в первой фазе деформаций – насыпи на дорогах с капитальными цементобетонными и асфальтобетонными покрытиями (расчет на полное отсутствие сдвигов в основании);
- в начальном периоде второй фазы – деформации насыпей на дорогах с покрытиями облегченных типов (ограничение распространения сдвигов заданным значением);

– в конечном периоде второй фазы – струенаправляющие и регуляционные сооружения, дороги местного значения с покрытиями переходных типов (условия, близкие к предельному равновесию).

Напряжения в грунте основания, вызываемые нагрузкой от насыпей, определяют по формулам теории упругости для бесконечной гибкой полосы, загруженной в поперечном сечении по закону трапеции.

Для повышения устойчивости насыпей против выпирания слабых грунтов в основании предусматривают ряд мероприятий:

1) уменьшение собственного веса насыпи, что достигается возведением ее из легких материалов (керамзита, котельного шлака или торфа), сооружением ячеистой насыпи из тощего бетона на легком щебне, в котором устроены воздушные прослойки путем закладки поперек насыпи пластмассовых труб, или уменьшением высоты насыпи с устройством в ней гидроизоляционных прослоек;

2) увеличение коэффициента заложения откосов до 1:5-1:10, что снижает касательные напряжения в грунте основания;

3) отсыпка рядом с насыпью вдоль ее откосов берм, вес которых противодействует выжиманию боковых призм подстилающего грунта;

4) прокладка дороги на эстакаде и передача веса насыпи на плотный подстилающий грунт через свайное основание;

5) отсыпка насыпи на жесткий настил, равномерно распределяющий давление насыпи на большую площадь и препятствующий неравномерному погружению насыпи в грунт с максимумом в середине. Считают, что при этом прочность основания увеличивается на 10-20%. Некоторое повышение жесткости нижней части насыпи и противодействие неравномерному погружению грунта насыпи в подстилающий грунт достигается также устройством под насыпью прослойки из нескольких слоев прочного синтетического материала – геотекстиля. Сопротивление заведенных в тело насыпи на достаточное расстояние концов полос геотекстиля препятствует образованию выпуклого очертания подошвы насыпи, способствующей ее погружению в слабое основание с выжиманием грунта в стороны;

6) уменьшение толщины слоя слабого грунта путем удаления его верхней части на основе расчета;

7) предварительное (до отсыпки) осушение основания в случае возможности отвода воды в сторону или с применением иглофильтров. Этим повышаются сцепление и внутреннее трение грунта, а уплотнение основания под действием собственного веса протекает более быстро;

8) постепенное замедленное возведение насыпи с учетом нарастания прочности слабого грунта по мере его уплотнения с выжиманием воды весом насыпи. Эффективным средством ускорения осадки является устройство вертикальных дрен.

Целесообразность применения того или иного способа должна быть основана экономическим сравнением с наиболее распространенным и испытанным решением – удалением слабого грунта и отсыпкой насыпи на расположенный ниже плотный грунт. Если насыпь на слабом основании устойчива против выпирания, должна быть рассчитана ее осадка для оценки дополнительных объемов земляных работ, необходимых для компенсации сжатия.

На практике для приближения формы откоса к очертанию устойчивого откоса применяют переменную крутизну его на разных участках по высоте или, сохраняя постоянную крутизну, вводят бермы (рис. 9.11).

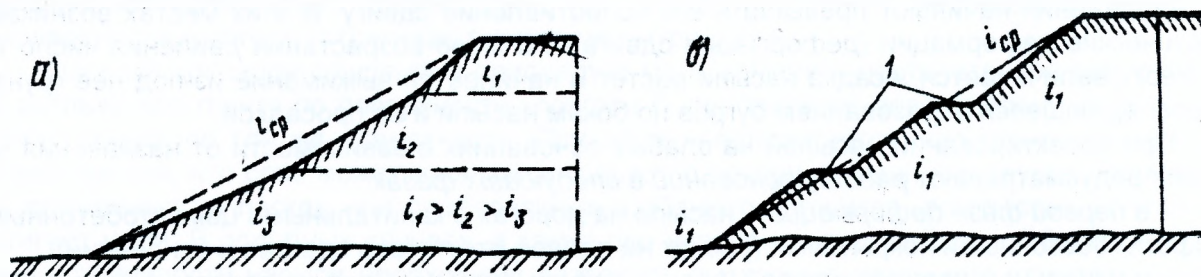


Рис. 9.11. Поперечные профили высоких насыпей: а – с переменной крутизной откосов; б – с введением берм; 1 – берма

Бермы уменьшают скорость стекания по откосу дождевых и талых вод, предотвращая его размывание. Они облегчают также ремонт и содержание откосов, позволяя осматривать их, подвозить и складывать материалы для ремонта.

Наблюдения показали, что откосы насыпей обрушиваются по поверхностям, которые без существенных искажений могут быть приняты как круглоцилиндрические. Для проверки устойчивости откосов задаются положением ряда поверхностей скольжения и определяют коэффициенты устойчивости сползающих частей откосов насыпи. Поверхность скольжения проводят через подошву откоса, не заглубляя в подстилающий грунт, если насыпь возведена на плотном основании. Если основание под насыпью мягкое водонасыщенное и малосвязное ($\varphi < 8^\circ$), должны быть исследованы также кривые, захватывающие основание и выходящие за подошву насыпи. Затем находят коэффициент устойчивости для всего откоса из соотношения сумм моментов сил, удерживающих и сдвигающих выделенные призмы относительно оси поверхности скольжения. Его значение должно быть больше допустимого (обычно 1,15-1,30).

Расчет осадки насыпей от сжатия подстилающего грунта сводится к суммированию деформаций отдельных слоев от вертикальных напряжений. При слабых грунтах происходит и частичное выдавливание грунта в сторону, создающее дополнительную осадку, но способы точного учета этого явления еще не разработаны.

При расчетах осадки насыпей сжатие грунтового основания вычисляют в пределах ограниченного по глубине слоя грунта (активной зоны), условно принимая, что сжатие грунта прекращается на глубине, на которой напряжения, вызываемые весом насыпи, становятся менее 0,2 от давления собственного веса грунтового основания.

При подсчете давления от собственного веса грунта для слоев, расположенных ниже уровня грунтовых вод, а также в зоне полного капиллярного водонасыщения грунта ниже уровня менисков, учитывается взвешивающее действие воды. В этом случае плотность грунта приблизительно принимают равной $1,0 \text{ г/см}^3$.

Осадку определяют суммированием деформаций отдельных слоев грунта, в пределах которых напряженное состояние и характеристики деформации грунта (модуль деформации, параметры компрессионной зависимости) могут быть приняты постоянными. При этом фактическая эпюра распределения давления заменяется ступенчатой (рис. 9.12). Толщина выделяемых слоев не должна превышать 0,4 ширины насыпи понизу.

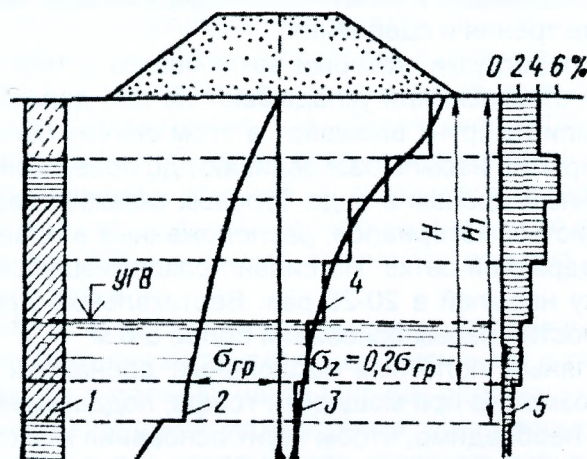


Рис. 9.12. Расчетная схема вычисления осадки от сжатия грунта под насыпью: 1 – геологический разрез; 2 – кривая напряжений от собственного веса грунта; 3 – кривая напряжений от веса насыпи; 4 – замена кривой напряжений ступенчатой эпюрой; 5 – эпюра относительного сжатия грунта; H – первоначальная толщина сжимаемой толщи; H_1 – толщина сжимаемой толщи, уточненная с учетом уплотнения расположенных ниже слоев грунта

Сжимаемость сравнительно плотных грунтов характеризуют модулем деформации, значение которого определяют испытанием пробными нагрузками. В этом случае сжатие

выделенного слоя толщиной $h - \Delta h = \frac{h \cdot \sigma_z}{E_{сп}}$, а общая осадка дорожной насыпи находится как

сумма осадок отдельных слоев $-\Delta = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{h_i \cdot \sigma_{zi}}{E_{zpi}}$, где h_i – мощность i -го слоя; σ_{zi} – напряжение

в i -том слое; E_{zpi} – модуль деформации грунта i -го слоя.

Если относительное сжатие нижнего слоя превышает 0,1% (1,0 мм на 1,0 м толщины грунта), расчет продолжают, учитывая деформацию нижерасположенных слоев грунта.

Для насыпей, отсыпанных на торфяном основании, необходимо учитывать возможность упругих колебаний насыпей при проезде автомобилей. Эти колебания могут вызвать образование трещин в покрытиях и их быстрое разрушение.

Считается, что упругая деформация оставленного под насыпью слоя торфа не должна превышать 0,5 см. Для этого отношение толщины насыпного слоя грунта к толщине оставленного под насыпью слоя слабого грунта H должно быть: не менее 2 (при $H = 1,0$ м); 0,5 (при $H = 6$ м) для одежд капитального и облегченного типов и соответственно 1,2 и 0,4 – для одежд переходного типа.

Уплотнение водонасыщенных грунтов под насыпью протекает замедленно. Скорость деформации зависит от коэффициента фильтрации грунта, которая может колебаться в широких пределах. Так, например, для торфов в зависимости от их состава и степени разложения коэффициент фильтрации составляет от 10^{-3} до 10^{-7} см/с.

Скорость осадки сооружений на торфяных и илистых основаниях может быть определена по формулам теории уплотнения во времени водонасыщенных грунтов (теории фильтрационной консолидации). Эта теория в ее простейших формулировках рассматривает замедленное во времени сжатие водонасыщенного грунта, происходящее в результате выжимания воды давлением внешней нагрузки. При этом предполагается, что напряжения в сжимаемом слое постоянны по глубине, а нагрузка передается через большую площадку, меньшая из сторон которой в 3-4 раза превышает толщину сжимаемого слоя. Вода выжимается по кратчайшему расстоянию в вертикальном направлении и удаляется через песчаное дно или песчаную насыпь.

Осадка насыпи должна прекратиться за период строительства до начала укладки покрытия. Для ускорения этого процесса в зависимости от местных условий можно применить один из следующих приемов:

- 1) увеличить глубину выторфовывания, что уменьшит толщину сжимаемого слоя;
- 2) осушить болото, что приведет к уплотнению торфа силами капиллярного давления и увеличению коэффициентов трения и сцепления;
- 3) применить способ перегрузки, который заключается в том, что вначале отсыпают высокую насыпь с крутыми откосами или укладывают на нее дополнительный слой грунта. Увеличение давления насыпи на грунт вызывает в этом случае более быстрое протекание осадки. Перед укладкой покрытия насыпь разравнивают до проектной отметки;
- 4) устроить вертикальный дренаж в виде буровых скважин, засыпанных крупнозернистым песком, или лент пористых материалов, расположенных в плане через 1,5-3 м, в шахматном порядке или по квадратной сетке. На сильно разложившихся торфах или илах дренажи могут ускорить осадку насыпей в 20-25 раз. Вертикальные дрены получили широкое распространение при мощности слабых оснований более 5-6 м;
- 5) устроить под земляным полотном продольные дренажные песчаные прорези на расстоянии 1,8-2,4 м, что возможно при мощности торфа, поддающейся разработке экскаваторами ($H < 4$ м). При этом необходимо, чтобы грунт основания мог сохранять вертикальные стенки в период до заполнения выкопанных траншей песком.

10. СООРУЖЕНИЯ ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА

10.1. Система дорожного водоотвода

Система дорожного водоотвода состоит из сооружений и отдельных конструктивных мероприятий, предназначенных для перехвата и отвода воды, поступающей к земляному полотну, или для преграждения доступа воды в верхнюю часть земляного полотна. Целью ее устройства является предотвращение переувлажнения земляного полотна, обеспечение постоянного безопасного режима влажности грунтовых оснований дорожных одежд.

Для того чтобы отвести поверхностную воду, выпадающую на дорогу в виде осадков и притекающую к ней, придают *выпуклое очертание поперечному профилю земляного полотна* и дорожной одежды, *планируют и укрепляют обочины*. Для отвода воды вдоль дороги устраивают боковые водоотводные канавы или используют для этого резервы у дорожных насыпей, а также устраивают нагорные канавы, перехватывающие воду, которая стекает по склонам местности к дороге.

Для обеспечения стока воды с покрытия поперечный уклон проезжей части, направленный от середины к обочинам, должен быть тем больше, чем меньше ровность поверхности покрытия, так как вода, испытывая сопротивление стеканию, может застаиваться в неровностях поверхности и просачиваться в покрытие. Однако требования удобства движения автомобилей вынуждают ограничивать крутизну поперечного уклона возможно меньшим значением, достаточным для обеспечения стока воды. *Принимаемые в зависимости от типа покрытия поперечные уклоны дорожных одежд приведены в табл. 10.1.*

Таблица 10.1. Поперечные уклоны дорожных одежд

Покрытия	Поперечный уклон покрытия, ‰	
	наименьший	наибольший
Асфальтобетонные и цементобетонные	15	20
Гравийные и щебеночные, обработанные органическими вяжущими материалами	20	25
Гравийные, щебеночные	25	30
Мостовые из булыжного или колотого камня, грунтовые, укрепленные местными материалами	30	40

Обочинам придают *большой поперечный уклон*, чем покрытию, так как на их поверхности при эксплуатации могут появляться неровности, вызванные заездом автомобилей, а застой воды даже на укрепленной обочине приводят к переувлажнению земляного полотна. В зависимости от типа грунта земляного полотна и типов покрытий обочины устраивают с уклоном на 10-20‰ больше, чем покрытие, т. е. обычно около 40‰.

Поперечный профиль проезжей части обычно очерчивается по параболе или по двум наклонным прямым, сопряженным в средней части круговой вставкой длиной 2 м. При параболическом очертании поверхности дороги поперечный уклон по ее оси равен нулю и достигает наибольшего значения (60‰) у бровок земляного полотна. Стрелка параболы равна 1,5% ширины земляного полотна.

Обочины на дорогах I, II категорий планируют, уплотняют и укрепляют на ширину 0,75 м от проезжей части бетонными плитами, щебеночными и гравийными материалами с обработкой их вяжущими. На остальной части ширины обочину укрепляют щебнем, гравием или грунтом, обработанным вяжущими материалами, а на дорогах с малой интенсивностью движения засевают низкорослыми травами для создания дернового покрова. В пределах населенных пунктов поверхность обочины необходимо на всю ширину укреплять гравием, щебнем, шлаком, местными каменными материалами или обрабатывать вяжущими.

10.2. Общие правила проектирования поверхностного водоотвода

При проектировании водоотводных устройств независимо от схемы организации поверхностного водоотвода выполняются следующие работы:

- разработка общей схемы организации поверхностного водоотвода;
- выбор и назначение основных элементов и конструкций водоотводных устройств, рациональных для данного объекта проектирования;
- размещение водоотводных устройств в плане, продольном и поперечном сечениях;
- определение границ водосборов и их основных характеристик;

- определение притока поверхностных вод (расхода и объема стока) с водосборных поверхностей, а также водопропускной способности водоотводных сооружений и их гидравлических характеристик;
- определение расстояний между водосбросными или водоприемными сооружениями;
- выбор и назначение типов укреплений водоотводных сооружений, подводящих и отводящих русел;
- разработка плана организации строительных работ и водоотвода в период строительства, определение объемов работ.

При проектировании водоотводных устройств необходимо разрабатывать и обосновывать расчетами *две системы водоотводных устройств*:

- с проезжей части, разделительных полос и обочин;
- от земляного полотна в насыпи или выемке.

Основа для разработки этих двух систем и общей схемы водоотводных устройств на каждом объекте – предварительные варианты конструктивных решений поперечных и продольных профилей дорог, а также параметры расположения дорожных сооружений на местности, устанавливаемые в соответствии с расчетными транспортно-эксплуатационными показателями и нормативами устойчивости земляного полотна. В результате анализа этих вариантов с учетом требований по обеспечению водоотвода разрабатываются окончательные варианты решения всего комплекса земляного полотна и выбирается окончательный.

Для обоснования проектируемой конструкции водоотвода с поверхности автомобильных дорог (разделительная полоса, дорожная одежда, откосы насыпей) изысканий не требуется, за исключением полевого обследования водоотводных устройств реконструируемых объектов дорожного строительства. Выбирать и назначать основные элементы и конструкцию водоотводных устройств, применяемых в общей схеме организации поверхностного водоотвода, следует в соответствии с действующими типовыми решениями «Водоотводные устройства на автомобильных дорогах. Типовые строительные решения и конструкции. 503-09-1.97».

В отдельных случаях возникает необходимость обоснования типовых конструкций водоотводных устройств и привязки применительно к измененным нормативным или иным транспортно-эксплуатационным показателям и параметрам земляного полотна. С этой целью производят корректирующие расчеты по определению водопропускной способности водопропускных лотков, максимальных расходов поверхностных вод и расстояний между типовыми или индивидуальными водосбросами.

Граница водосборов, прилегающих склонов и их основные характеристики определяются по топографическим планам, а при проектировании водоотвода с поверхности дорог – по расчетным поперечным и продольным профилям дороги.

На основе анализа этих профилей с расположением водоотводных устройств заданного сечения устанавливаются исходные данные гидрологического обоснования типовых и индивидуальных конструктивных решений по схеме водоотвода.

10.3. Сооружения поверхностного водоотвода

Несмотря на все многообразие сооружений поверхностного водоотвода их можно разделить на несколько типов.

1. Для дорог I-III категорий водоотвод может обеспечиваться *прикромочными водоотводными лотками*, расположенными вдоль кромок проезжей части (рис. 10.1).

Прикромочные лотки проектируют на участках дорог I-III категорий с продольными уклонами более 3‰, насыпями высотой более 4,0 м, в местах вогнутых вертикальных кривых, перед мостами и путепроводами и за ними. На участках дорог с односкатным поперечным профилем (виражом) специальный водоотвод устраивается только с нижней части поперечного профиля (внутренней стороны закругления).

На дорогах II-III категорий взамен прикромочных лотков может применяться специальная конструкция *щебеночных обочин* (рис. 10.1д), которая действует по принципу растекания и поглощения водного потока, стекающего с проезжей части. Эта же конструкция может применяться при стадийном строительстве покрытий на дорогах I категории на первой стадии строительства на участках вогнутых вертикальных кривых и коротких участках высоких насыпей.

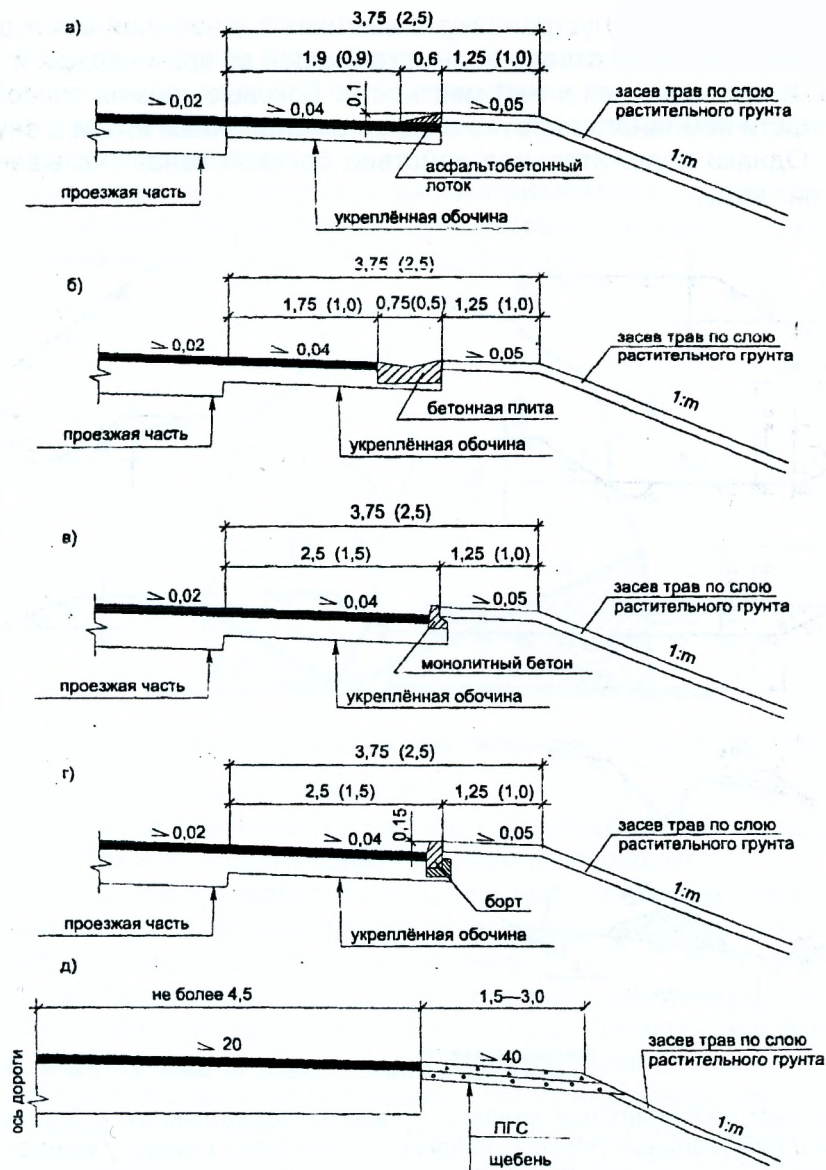


Рис. 10.1. Водоотвод с проезжей части дорог прикромочными лотками: а – лоток непрерывного формования из асфальтобетона; б – то же, из монолитного бетона или бетонных плит; в – то же, из монолитного бетона или бетонных блоков; г – борт из бетонных бортовых блоков; д – щебеночные обочины

Прикромочные лотки устраивают способом непрерывного формования из асфальтобетона (рис. 10.1а), бетона или сборных бетонных элементов (рис. 10.1в, г).

На автомобильных дорогах IV-V категорий водоотвод с поверхности насыпей, как правило, обеспечивается равномерным площадочным стеканием воды с проезжей части на обочину, затем по откосу в кювет-резерв или другую водоотводную систему. В этом случае скорость стекания воды с проезжей части и обочин полностью зависит от их поперечного уклона, типа и состояния дорожного покрытия. Необходимые конструктивные мероприятия по обеспечению поверхностного водоотвода выявляются в процессе проектирования для каждого конкретного случая. При этом может оказаться целесообразным укрепление откосов дорожного полотна от размывов поверхностным стеканием воды.

Для автомобильных дорог с *разделительной полосой* дополнительно требуется отвод воды с поверхности этой полосы и вывод за пределы земляного полотна. Сброс воды с разделительных полос выпуклого очертания обеспечивается продольными и поперечными уклонами. Для приема и сброса воды с разделительных полос вогнутого очертания требуются подводящие укрепленные русла, расположенные на разделительных полосах, дождеприемные колодцы, водосточные трубы под насыпью, а также выходные русла. Из-под высокой насыпи воду выводят в поперечные откосные водосбросные лотки.

2. Боковые каналы (кюветы) устраивают в выемках и у насыпей высотой до 1,0-1,2 м (рис. 10.2). Эти каналы служат для отвода воды, стекающей во время дождя и таяния снега с поверхности дороги и прилегающей к ней местности. Боковые каналы способствуют также осушению верхней части земляного полотна в связи с испарением влаги с внутренних откосов боковых каналов. Однако положительное действие боковых каналов сказывается лишь при быстром отводе из них воды.

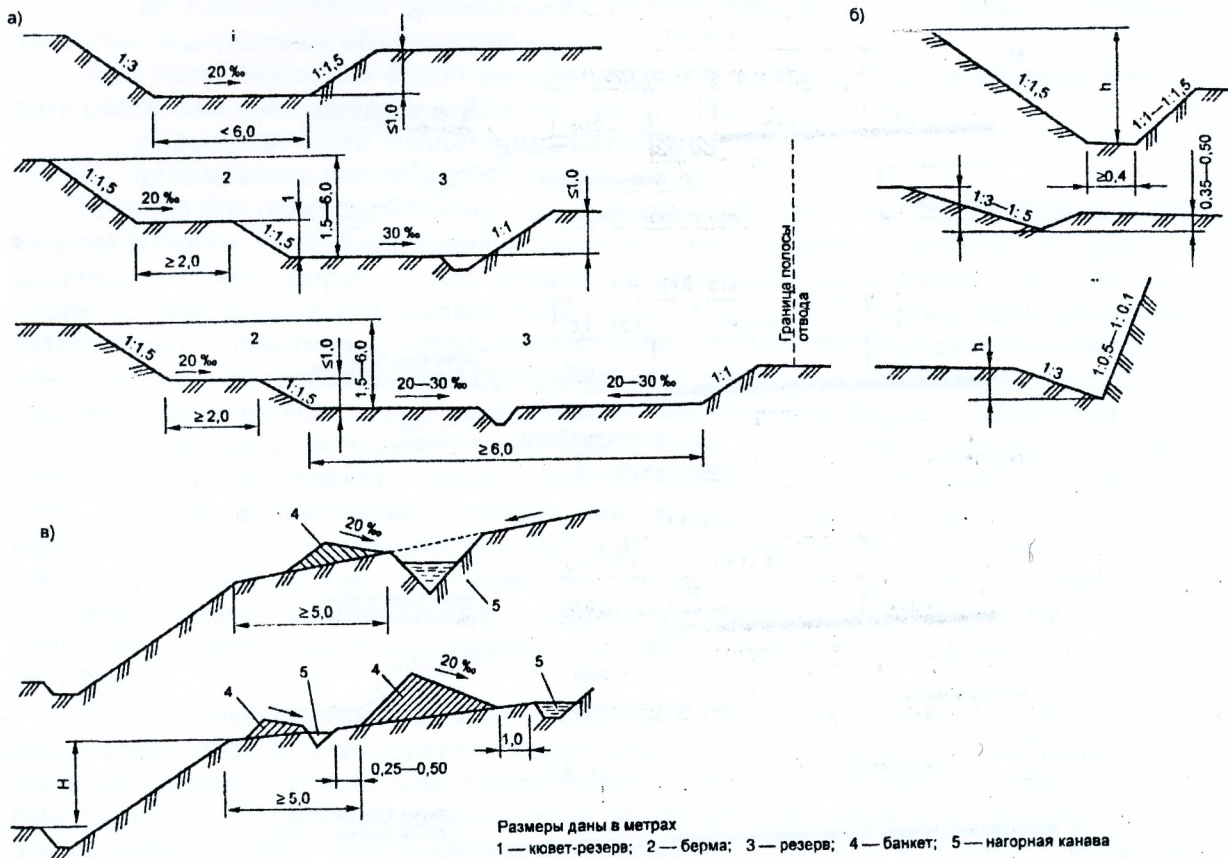


Рис. 10.2. Виды различных водоотводных каналов: а – каналы, совмещенные с боковыми резервами; б – трапецидальные и треугольные боковые каналы; в – нагорные каналы у выемок

При водонепроницаемых грунтах и малоудовлетворительных условиях поверхностного стока боковым каналам придают трапецидальное сечение с шириной по дну 0,4 м и глубиной обычно 0,7-0,8 м (до 1,0-1,2 м как максимум), считая от бровки насыпи. Откосам каналов в выемках придают крутизну 1:1,5, а у насыпей внутренний откос каналов имеет крутизну 1:3 (рис. 10.2а).

Если земляное полотно возводят в сухих местах с обеспеченным быстрым стоком поверхностных вод, а грунтовые воды расположены глубоко, боковые каналы устраивают треугольного сечения глубиной не менее 0,3 м от поверхности земли (рис. 10.2б). Крутизна откосов таких каналов 1:3 и менее обеспечивает автомобилям возможность безопасного съезда с насыпи. В водопроницаемых песчаных, щебенистых и гравелистых грунтах, обеспечивающих быстрое впитывание воды в любое время года, каналы не устраивают.

В выемках, расположенных в гравелистых, щебенистых грунтах или легковыветривающихся скальных породах, устраивают трапецидальные каналы глубиной не менее 0,3 м с откосами 1:1.

Глубину каналов в равнинной местности назначают по опыту эксплуатации в указанных выше пределах, проверяя в случаях необходимости при значительном притоке воды с окружающей местности достаточность пропускной способности каналов гидравлическими расчетами. При этом глубину каналов назначают так, чтобы низ выхода дренажного слоя дорожной одежды на откос (или дренажных воронок) возвышался над дном канала не менее чем на 20 см. При помощи боковых водоотводных и нагорных каналов поверхностные воды отводятся в пониженные места (лога, тальвеги) и пропускаются через дорогу, для чего в логах строят водопропускные трубы под насыпями и малые мосты.

Если приток воды слишком большой, водоотводные каналы или резервы могут переполняться, и не будут выполнять своих функций по осушению земляного полотна. В связи с этим вода из боковых каналов и резервов, расположенных с нагорной стороны, сбрасывается на низовую сторону дороги *перепускными трубами*, располагаемыми не реже чем через 500 м вдоль дороги на спуске к тальвегу.

Поверхностные воды *притекают* к рассматриваемому участку дороги с некоторой площади, называемой водосбором (бассейном). Бассейн оконтурен водоразделом, т. е. линией, от которой сток воды происходит в обе стороны (рис. 10.3).

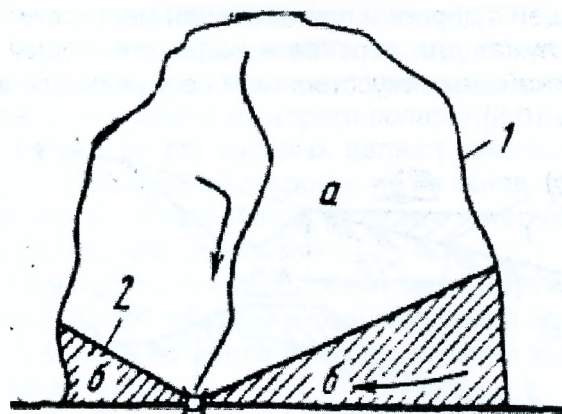


Рис. 10.3. Схема малого бассейна: 1 – общий водораздел; 2 – местные водоразделы

Площадь бассейна делится на две части:

- с площади а вода притекает по тальвегу непосредственно к водопропускному сооружению (мосту, трубе) и по водоотводным каналам не проходит;
- с площади б, а также с поверхности дороги вода притекает сначала к каналам или к резервам, а по ним либо к перепускным трубам (если длина спуска дороги к тальвегу велика), либо к водопропускному сооружению на тальвеге.

Водораздел, окаймляющий весь бассейн, легко устанавливается по карте в горизонталях. Водоразделы, окаймляющие площадки б, которые питают каналы, проводятся в виде наклонных линий, перпендикулярных к горизонталям на плане бассейна.

Из двух возможных видов стока (ливневых и талых вод) наиболее опасным для каналов и резервов всегда является ливневый. Особенность стока с очень малых площадок (к которым относятся и площадки б на рис. 10.3) – постоянный расход в течение весьма длительного времени. К водопропускным сооружениям (мостам и трубам) вода притекает с достаточно больших площадей, и график притока как ливневых, так и талых вод меняется, что отражается на длительности пика паводка (рис. 10.4).

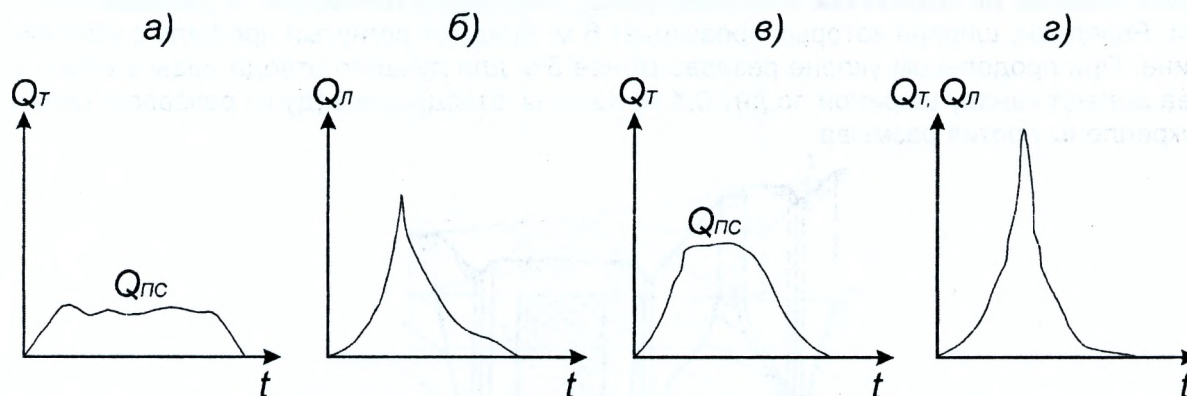


Рис. 10.4. Графики притока воды во времени: а – к кюветам; б, в – ливневых и талых вод к малым мостам и трубам; г – ливневых и талых вод со значительных площадей

При этом ливневые воды притекают по почти треугольному гидрографу, а талые – чаще всего по трапецеидальному, но с верхним основанием, значительно меньшим нижнего при весьма значительных площадях бассейнов. Талые воды притекают к дорожным водопропускным сооружениям по треугольным гидрографам.

При проектировании водоотводных канав, являющихся элементами земляного полотна, исходят из вероятностей превышения расчетных расходов воды: для I и II категории – 2%, III – 3%, IV и V – 4%.

Для того чтобы быстро отвести воду, боковым канавам придают продольный уклон, который не должен быть менее 5‰. Если это требование удовлетворить нельзя, рабочую отметку насыпи необходимо настолько увеличить, чтобы низ дорожной одежды возвышался над уровнем длительного стояния вод на требуемую высоту. На участках дорог с большими продольными уклонами боковые канавы укрепляют по гидравлическому расчету исходя из количества воды, притекающей с дороги и прилегающей местности.

3. *Нагорные канавы* служат для перехвата воды, стекающей по косогору к дороге, и для отвода этой воды к ближайшим искусственным сооружениям, в резервы и пониженные места рельефа (рис. 10.2в и 10.5).

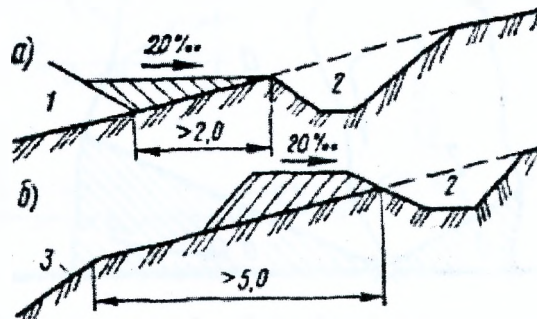


Рис. 10.5. Нагорные канавы: а – у насыпи; б – у выемки; 1 – насыпь; 2 – нагорная канава; 3 – откос выемки

Нагорным канавам придают трапециевидальное поперечное сечение, размеры которого всегда приходится обосновывать гидравлическим расчетом. При расчете длинных канав учитывают увеличение бассейна вдоль канавы по мере удаления от водораздела. Поэтому сечение нагорных канав обычно подбирают по отдельным участкам по мере возрастания площади водосборных бассейнов. Нагорные канавы трассируют на местности с таким продольным уклоном, при котором вода не размывала бы грунт.

Во избежание сплывов и оползания откосов выемки из-за переувлажнения грунта, которое может возникнуть в результате случайного засорения нагорной канавы, расстояние от края выемки до канавы должно быть не менее 5 м. На косогорах с откосом круче 1:5 грунт из нагорных канав используют для устройства невысокого валика (банкета) между выемкой и канавой. Банкет повышает безопасность дороги от затопления при переполнении нагорной канавы. В местах перехода дороги из выемки в насыпь канавы отводят с нагорной стороны в резерв, а с низовой выводят на поверхность грунта в сторону выемки (рис. 10.6). Для стока воды дно резерва по окончании земляных работ тщательно планируют с уклоном 20‰ от насыпи. Резервам, ширина которых превышает 6 м, придают вогнутый профиль с уклоном к середине. При продольном уклоне резерва менее 5‰ для лучшего отвода воды в середине резерва делают канаву шириной по дну 0,4 м. Канавы, отводящие воду из резервов, должны быть укреплены против размыва.

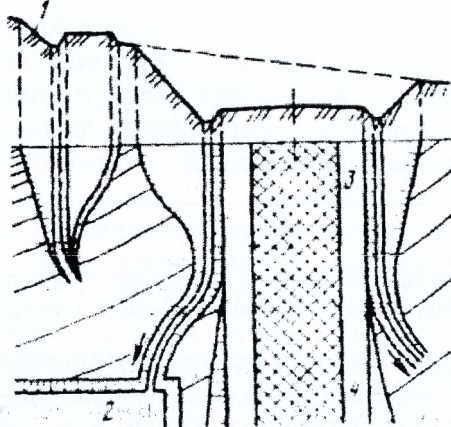


Рис. 10.6. Выпуск воды из нагорных канав и кюветов в резервы

По боковым кюветам и нагорным канавам вода стекает со скоростью, зависящей от их продольного уклона, поперечного профиля канавы, глубины потока и степени шероховатости стенок канавы. При скорости течения, меньшей 0,3-0,4 м/с, канава засоряется и в ней возникает застой воды. Поэтому не допускается уклон водоотводных канав менее 2‰.

При слишком большой скорости течения грунт начинает размываться, в связи с чем дно и откосы канав необходимо укреплять против размыва. Откосы канав укрепляют сплошной одерновкой, дно – щебнем, грунтом, обработанным органическими вяжущими материалами, одиночным мощением и каменной кладкой на цементном растворе. Часто применяют бетонные укрепления. Укрепления канав назначают по гидравлическому расчету.

4. В равнинной местности, застойных местах, когда нельзя отвести воду от дороги по боковым водоотводным канавам в естественные понижения местности или к водопропускным сооружениям, устраивают в стороне от дороги испарительные бассейны. Эти бассейны представляют собой котлованы, вокруг которых делают земляные валики для того, чтобы преградить доступ воды, поступающей со стороны, не из канав. Иногда вместо специальных испарительных бассейнов можно использовать резервы, которые в этом случае располагают на большем расстоянии от дороги, чем обычно.

На участках, где под испарительный бассейн используется резерв, следует предусматривать насыпь с бермой. Ширина бермы между подошвой откоса и бровкой резерва или водоотводной канавы принимается не менее 2 м; для насыпей высотой до 1,5 м допускается уменьшение ширины бермы до 1 м.

Размеры испарительного бассейна должны быть подтверждены расчетом, учитывающим местные климатические и гидрологические условия. Емкость испарительного бассейна не должна превышать 200-300 м³. Глубина испарительного бассейна должна быть не более 1,5 м. Вынутый грунт отсыпается вокруг бассейна для защиты от притока воды. Уровень воды в испарительном бассейне следует рассчитывать так, чтобы он был ниже дна боковых канав. Вода из боковых канав выводится в испарительный бассейн поперечными канавами.

5. При наличии на глубине 1,5-2,5 м от поверхности земли и ниже глубины промерзания хорошо дренирующих (поглощающих) воду грунтов (галька, гравий, крупнозернистый песок, трещиноватые известняки), при достаточно низком горизонте грунтовых вод и отсутствии оползневых явлений вблизи земляного полотна по согласованию с органами по охране природы разрешается отводить поверхностные воды из канав и прочих водоотводных сооружений в **поглощающие колодцы**.

Сечение колодца может быть круглое диаметром 0,7 м или прямоугольной формы размером от 0,6х0,6 до 1х1 м, в зависимости от глубины; сечение устанавливается по расчету как обратный дренаж с учетом местных климатических и гидрологических условий. Колодец заполняется дренирующими материалами (рис. 10.7).

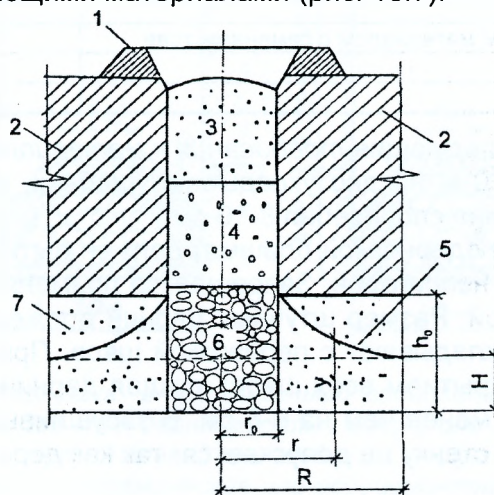


Рисунок 10.7. Поглощающий колодец: 1 – защитный валик из грунта; 2 – водонепроницаемый грунт; 3 – крупнозернистый песок; 4 – гравий; 5 – кривая инфильтрации (депрессии) воды в грунт; 6 – щебень; 7 – дренирующий грунт; y – ордината кривой депрессии на расстоянии (r) от оси колодца, м; r_0 – радиус колодца, м; r – расстояние от оси колодца до кривой депрессии (переменная величина), м; R – радиус влияния, м; H – бытовая глубина в водоносном слое, м; h_0 – толщина водоносного слоя грунта, м

Для защиты от попадания воды из окружающей площади у колодца предусматривается защитный валик из грунта.

Колодцы размещаются не ближе 10 м от земляного полотна в обычных условиях и не ближе 75-100 м – на макропористых лессовидных просадочных грунтах.

10.4. Принципы расчета дорожных канав и кюветов

Расчет дорожных канав и кюветов заключается в определении их геометрических размеров на основании расчетного расхода ливневых вод или расхода весеннего половодья (за расчетный принимается больший из них) с учетом укрепления русла и стенок канав и кюветов.

Основные принципы и положения расчета дорожных канав:

- 1) их рассчитывают по уравнению равномерного движения жидкости;
- 2) если длина канавы невелика, то расчет производят по одному значению расхода, фактически собирающемуся только к замыкающему сечению расчетного участка. При большой длине канавы или при большой площади, с которой стекает вода, целесообразно делить канаву на участки по длине и рассчитывать каждый участок на свою величину расхода;
- 3) площадь, с которой вода стекает в низовую канаву, определяется половиной ширины дороги и длиной участка; к верховой канаве вода стекает не только с половины ширины дороги, но и с пространства до нагорной канавы, а при ее отсутствии (если приток к ней невелик) – с некоторой площади, контуры которой могут быть найдены по плану в горизонталях (см. рис. 10.3).
- 4) для расчета более опасного ливневого стока к канавам используется формула полного стока $Q_{пс} = 87,5 \cdot a_{час} \cdot F$, где $a_{час}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности, определяемая по спец. таблицам (0,46-1,48), мм/мин; F – площадь водосбора, км², обычно определяемая по карте масштаба 1:25 000 – 1:50 000.

Тип укрепления канав выбирают на основании результатов гидравлического расчета:

- 1) при уклоне дна до 5-10‰ канаву устраивают без укрепления;
- 2) при больших уклонах чаще всего принимают типы укреплений, указанные в табл. 10.2. Кроме того, применяют также глинобетон или обрабатывают грунт вяжущими материалами. Одерновку плашмя и реже в стенку применяют для укрепления откосов. Дно укрепляют одерновкой только при ширине канавы более 1,0 м.

Таблица 10.2. Допускаемые скорости для различных типов укреплений

Характеристика укрепления водоотводного сооружения	Допускаемая скорость течения воды
Засев трав	0,9
Щебневание	1,5
Укрепление нетканым синтетическим материалом с семенами трав	2,0
Асфальтобетонное покрытие	6,0
Цементобетонное покрытие	13,0

При этом предъявляют следующие требования к материалам укрепления канав:

- 1) при ширине менее 1,0 м на дно укладывают щебень, крупный гравий, доменный шлак и утрамбовывают. Толщина слоя щебня 8-10 см;
- 2) дерн (для укрепления одерновкой плашмя) должен быть свежий, луговой, плотный. Торфяной и болотистый дерн непригоден. Запрещается применять дернины поломанные, с нарушенной корневой системой. Размер штучных дернин должен быть не менее 20x25 см, толщина – 6-8 см. Дернины укладывают с перевязкой швов. При укреплении одерновкой в стенку (с обязательным перекрытием всех швов) каждая дернина должна перекрывать соседнюю с каждой стороны не менее чем на 6-8 см. В засушливых районах и в особо сухих местах одерновка плашмя и в стенку не допускается, так как дерн засыхает и не приживается;
- 3) для мощения применяют камень чаще всего высотой 12-14, 14-16 и 16-18 см. При песчаных и супесчаных грунтах обязательна укладка между грунтом и каменным мощением слоя глины толщиной 10-15 см. Мостят по слою сена, мха, соломы или щебня. Камни укладывают плотно, с тщательным заполнением промежутков щебня и утрамбовкой. Укладка отдельных камней плашмя не допускается;

4) глинобетон для укреплений готовят из мягкой жирной глины с щебнем из природного камня или кирпича. Толщина глинобетонного укрепления должна составлять 25 см в районах с умеренным климатом и 15 см в южных районах. Допускаемые скорости течения воды для глинобетонных укреплении принимают, как для плотной твердой породы;

5) укрепление грунтом, обработанным методом смешения с вяжущими материалами (парафинистой нефтью, мазутом, нефтяными остатками, жидким битумом, дегтем и др.), целесообразно при строительстве дорог на песчаных и супесчаных грунтах. Слой грунта, обработанного органическими вяжущими материалами, должен иметь толщину от 5 до 10 см.

В последнее время все более широкое распространение получают типы укрепления или приемы, поддающиеся механизации:

- 1) засев трав по подготовленному грунту вместо одерновки;
- 2) при больших скоростях течения для укрепления дна канав можно применять заливку тощим бетоном (на низких марках цемента) по подготовленному щебеночному слою;
- 3) широко применяется бетонная облицовка в виде бетонных плит размерами 50x50x8 см (размеры плит установлены в типовых проектах).

Выбор типа укрепления канавы зависит от скорости протекания воды, назначения канавы и наличия местных материалов.

Гидравлически наиболее выгодное сечение не применяется при проектировании дорожных канав, так как этот принцип расчета приводит, как правило, к глубоким и узким (по дну) сечениям и высокой скорости протекания воды.

10.5. Система отвода подземных вод

В случае, когда грунтовые воды залегают высоко, а построить насыпь такой большой высоты, чтобы исключить капиллярное смачивание низа дорожной одежды, не представляется возможным, прибегают к понижению грунтовых вод, устраивая для этого дренажи.

Дренажи (рис. 10.8) устраивают в виде заложенных в грунт труб (закрытый дренаж) или заглубленных в водоносный слой грунта канав, заполненных крупным дренирующим материалом (открытый дренаж).

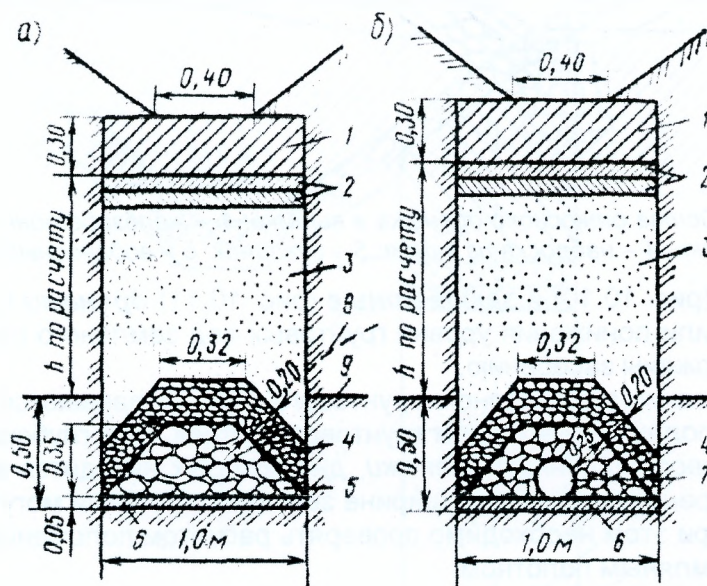


Рис. 10.8. Схема закрытого дренажа: а – с каменным заполнением; б – с дренажной трубкой; 1 – утрамбованная глина; 2 – два слоя дерна (корнями вверх) или грунт, обработанный битумом толщиной 3 см; 3 – песок; 4 – мелкий гравий или щебень; 5 – крупный гравий или щебень; 6 – щебень, утрамбованный в грунт; 7 – керамическая или асбоцементная труба; 8 – кривая депрессии; 9 – водоупор

Закрытый дренаж (дренажная прорезь) состоит из уложенной в грунте дрены – трубы (асбоцементной, керамической или бетонной), вода в которую поступает через открытые стыки звеньев. Чтобы труба не засорялась грунтом, стыки окружают пористой засылкой (фильтром), крупность которой уменьшается по направлению к стенкам траншеи. Пористая

засыпка собирает притекающую из грунта воду, которая стекает далее по трубе (дрене). Возможно также обертывание стыков дренажных труб геотекстилем, пропускающим воду, но не частицы грунта.

Дренажи можно использовать как для понижения уровня грунтовых вод, так и для полного перехвата грунтовой воды, притекающей к дороге со стороны. Чаще всего последние применяются на откосах выемок, перерезающих водоносные пласты. Осушающее (понижающее) действие дренажей заключается в том, что при заглублении в грунт ниже уровня грунтовых вод труба быстро отводит воду, просачивающуюся из прилегающей части грунта, в результате чего образуется осушенная зона.

Ограждающие (перехватывающие) **дренажи** применяются для отвода грунтовых вод (верховодки) при вероятности поступления их в основание насыпи или в откос выемки. Расстояние от ограждаемого участка земляного полотна до дренажа устанавливают исходя из наименьшей глубины этого дренажа, а также из условия размещения дренажа в пределах устойчивой толщи и сохранения устойчивости земляного массива после возведения дренажа. Вода из ограждающих дренажей должна отводиться в пониженные места местности или к водопропускным сооружениям (трубы, мосты и др.).

Откосные дренажи предусматриваются для борьбы со сплывами откосов выемок, вызываемыми выходом на откос грунтовых вод, не образующих сплошного потока. Вода из откосного дренажа должна отводиться в кювет или железобетонный лоток, уложенный вдоль кювета (рис. 10.9).

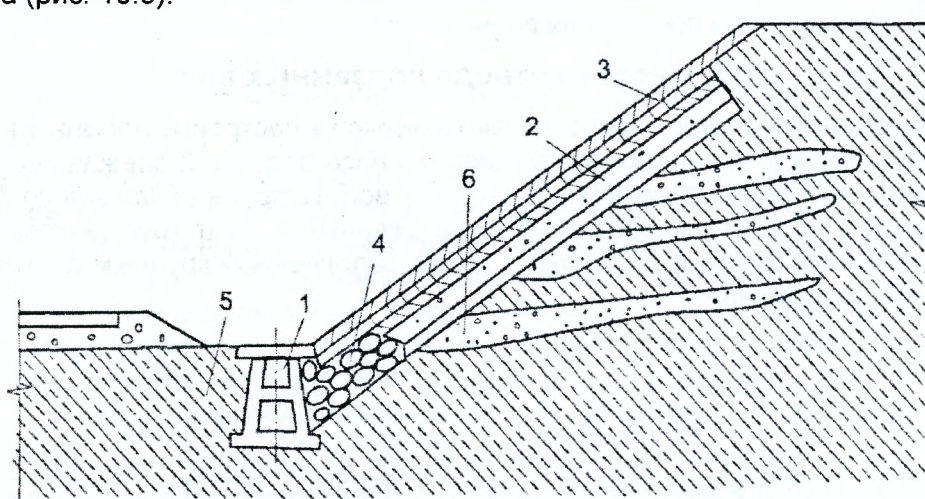


Рис. 10.9. Схема устройства откосного дренажа в выемке: 1 – железобетонный лоток; 2 – откосный дренаж; 3 – одерновка; 4 – наброска из камня; 5 – суглинок; 6 – водоносный песок

Подкюветные (рис. 10.10) и **закюветные** (рис. 10.11) **дренажи** проектируются в выемках для перехвата или понижения уровня грунтовых вод земляного полотна. Закюветные дренажи менее подвержены засорению.

При низком залегании водоупорного грунтового слоя устраиваются *совершенные дренажи*, т.е. дренажи с полным перехватом грунтового потока. При глубоком залегании водоупора устраиваются *несовершенные дренажи*, дно которых находится выше водоупорного слоя. Совершенные дренажи при малой ширине земляного полотна могут предусматриваться с одной стороны. При этом необходимо проверять расчетом положение кривой депрессии водного потока под земляным полотном.

Несовершенные дренажи должны устраиваться, как правило, с обеих сторон земляного полотна. Глубина заложения для совершенных дренажей должна быть ниже глубины расположения водоупорного слоя на 0,5-0,7 м, но не менее глубины максимального промерзания грунтов плюс 0,25-0,3 м. Для несовершенных дренажей глубину заложения принимают по расчету.

В качестве дренажных элементов в подкюветном и закюветном дренажах используют гончарные, асбестоцементные, керамические или полиэтиленовые трубы диаметром 150-200 мм. В трубах в шахматном порядке должны быть сделаны прорезы для приема воды.

Продольный уклон траншей для трубчатого дренажа должен быть не менее 0,005 – в исключительных случаях – от 0,002 до 0,003; наибольший допустимый уклон – 0,15.

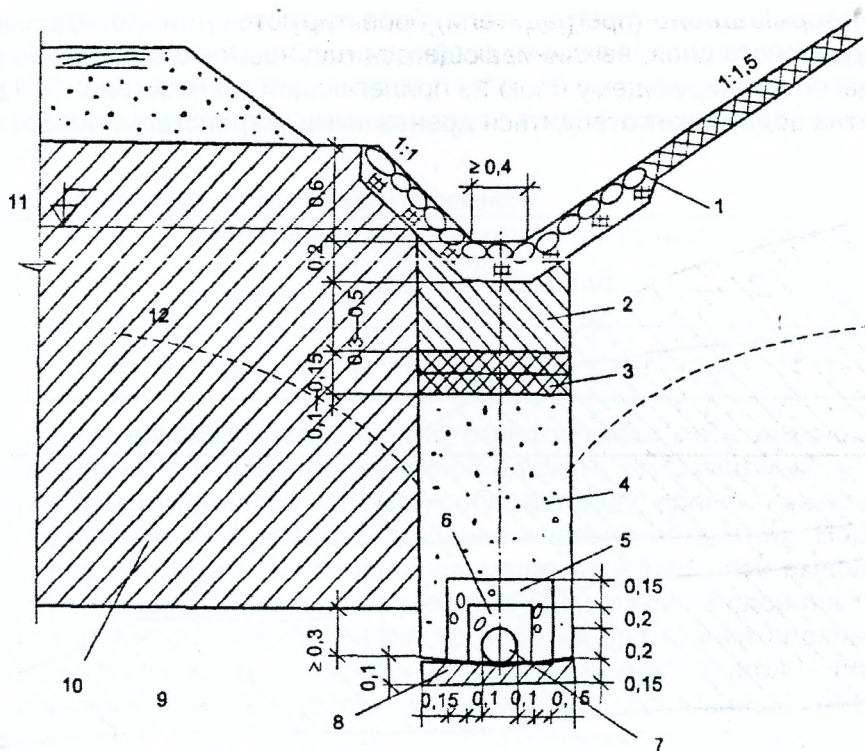


Рис. 10.10. Конструкция подкуветного дренажа: 1 – укрепление кювета; 2 – утрамбованный глинистый грунт; 3 – слой мягкой глины; 4 – среднезернистый песок; 5 – щебень или гравий (фракции 5-7 мм); 6 – щебень или гравий (фракции 50-70 мм); 7 – дренажная труба 0,15-0,2 м; 8 – уплотненное трамбованным щебнем основание; 9 – водоупорный слой; 10 – супесь пылеватая; 11 – горизонт воды до устройства дренажа; 12 – кривая депрессии

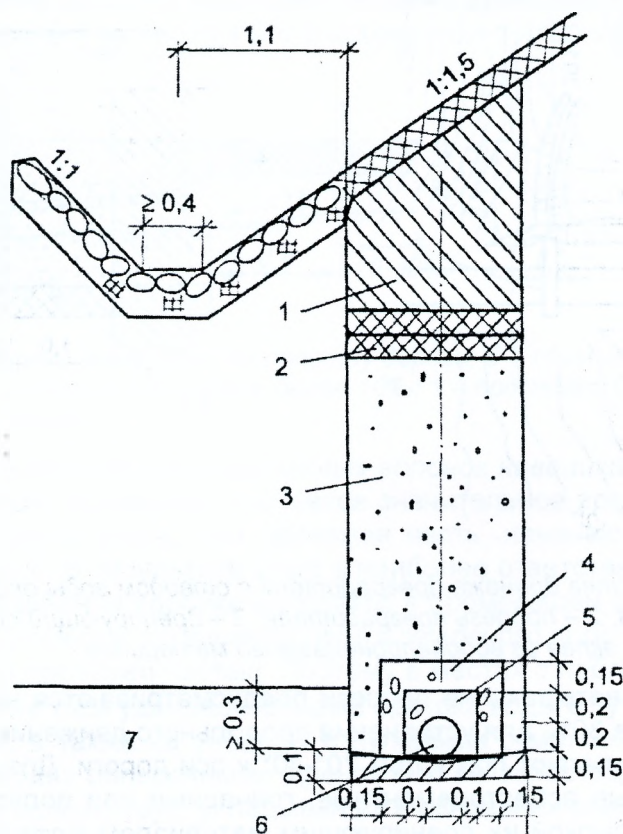


Рис. 10.11. Конструкция закуветного дренажа: 1 – утрамбованный глинистый грунт; 2 – два слоя дерна корнями вверх или слой мягкой глины; 3 – среднезернистый песок; 4 – щебень или гравий (фракции 5-7 мм); 5 – щебень или гравий (фракции 50-70 мм); 6 – дренажная труба 0,15-0,2 м; 7 – водоупорный слой

Дренажи-прерыватели (преградители) проектируются для ограждения насыпи от обводнения из водоносного слоя, выклинивающегося под насыпью со стороны выемки; или от проникания воды по дренирующему слою из прилегающей выемки (рис. 10.12). В сторону от земляного полотна вода может отводиться дренажными устройствами или открытой канавой (рис. 10.13).

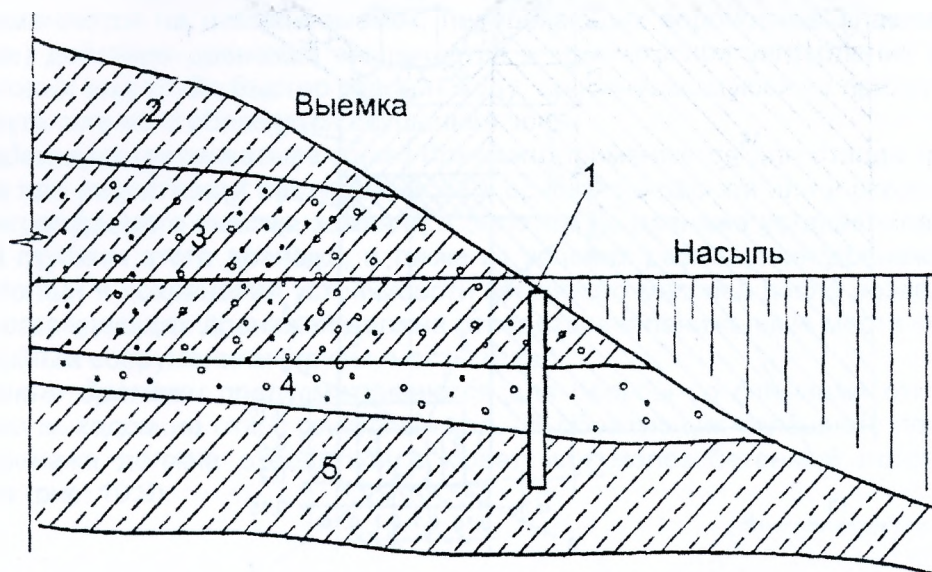


Рис. 10.12. Схема устройства дренажа-прерывателя для осушения насыпи: 1 – дренаж-прерыватель; 2 – суглинок; 3 – супесь; 4 – водоносный пласт; 5 – глина

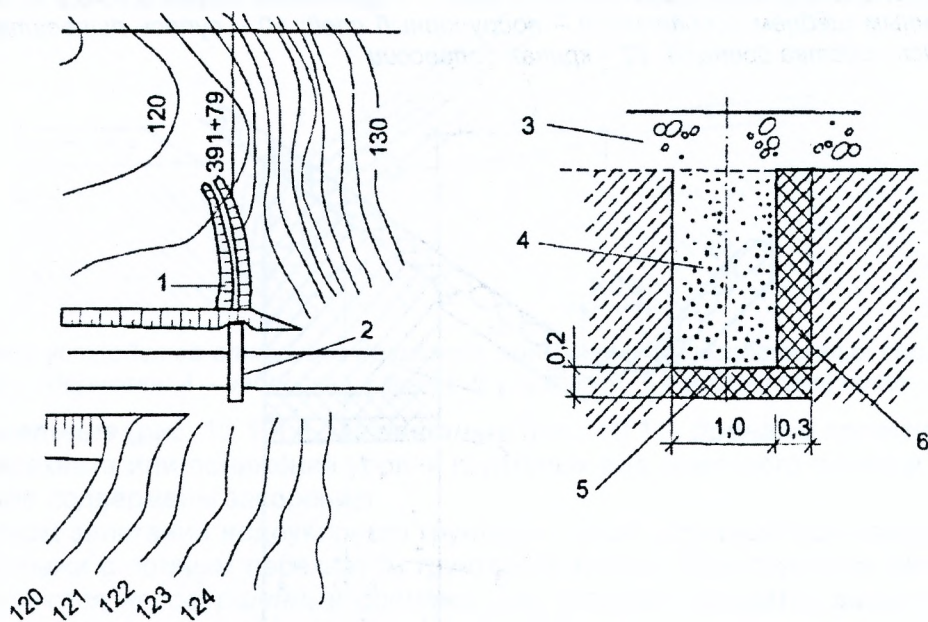


Рис. 10.13. Схема устройства дренажа-преградителя с отводом воды открытой канавой в сторону от полотна: 1 – канава; 2 – прорезь преградителя; 3 – дренирующий слой; 4 – крупнозернистый песок; 5 – дно прорези; 6 – экран из водонепроницаемого материала

Поперечные перехватывающие прорезы предусматриваются на участках дорог с продольным уклоном свыше 30‰ для устранения продольного движения воды в подстилающем слое. Эти прорезы располагают под углом 70°-80° к оси дороги. Для отвода воды в прорезы укладываются дренажные асбестоцементные, гончарные или полиэтиленовые трубы диаметром 80-100 мм с обсыпкой их дренирующим материалом (гравий, щебень, крупный песок) с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут или обворачиванием геотекстильным материалом. При длине участка дороги с продольным уклоном свыше 30‰ менее 200 м перехватывающие прорезы следует предусматривать в нижней части этого участка, а при

большей длине – располагать на расстоянии в зависимости от удельного притока воды в «корыто» в весенний период и продольного уклона участка при подстилающем слое из песка крупного и средней крупности в соответствии с табл. 10.3. Выпуск воды из поперечных перехватывающих прорезей должен предусматриваться в закрытый водосток, на откосы насыпей и в кюветы выемок.

Таблица 10.3. Расстояние между поперечными прорезями

Уклон дороги, ‰	Расстояние, м, между прорезями при удельном притоке воды, л/(м ³ ·сут)			
	1	2	3	4
30	260	130	80	50
45	350	170	100	70
60	400	200	130	80

К системе дорожного водоотвода можно отнести также **подстилающий** (дренирующий) слой дополнительного основания дорожной одежды, устраиваемый из песка, гравия и других крупнозернистых материалов, который собирает воду, проникающую в основание дорожной одежды через обочины, а также трещины и швы в покрытиях. Вода из песчаного слоя отводится в резервы или в боковые канавы, для чего этот слой выводится на откосы насыпи по всей длине дороги. В весенний период в дренирующий слой поступает также вода, выделяющаяся из верхних слоев земляного полотна при таянии ледяных прослоек, которые образовались на пучинистых участках в процессе зимнего влагонакопления.

Дренирующие песчаные слои устраивают в местах с постоянным избыточным увлажнением. В зависимости от ширины проезжей части и климатического района строительства песчаные материалы для устройства дренирующего слоя должны в уплотненном состоянии иметь коэффициент фильтрации от 3 до 10 м/сут.

В благоприятных гидрогеологических условиях сплошной вывод песчаного слоя на откосы насыпи иногда заменяют устройством *дренажных воронок*, заполненных хорошо дренирующим материалом (одноразмерным щебнем, галькой размером 40-60 мм и др.), по которым вода просачивается на откос земляного полотна. Дренажным воронкам придают сечение 0,4x0,2 м и располагают их через 4-6 м в шахматном порядке (рис. 10.14).

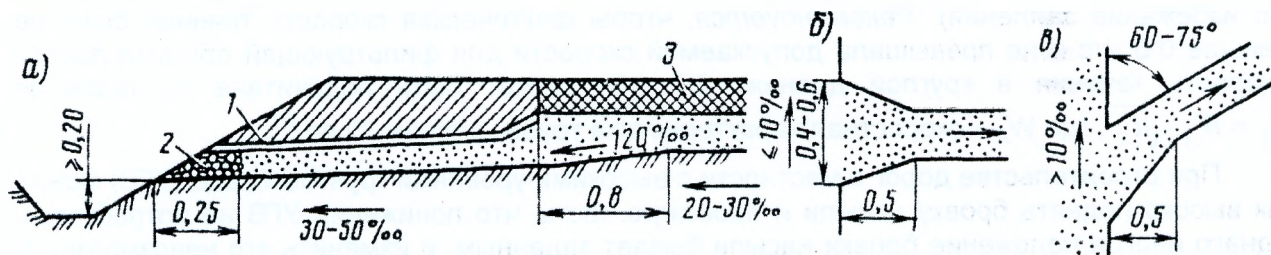


Рис. 10.14. Дренажные воронки: а – разрез по полотну дороги; б – примыкание воронки к песчаному слою при малых уклонах; в – то же при уклоне более 10‰; 1 – прослойка дерна или мха; 2 – щебень или гравий; 3 – дорожная одежда

Однако пропускная способность дренажных воронок невелика, и для отвода воды, заполнившей поры песчаного основания, требуется значительное время. Обочины, покрытые зимой более толстым слоем снега, чем проезжая часть, начинают оттаивать позже, чем грунт под проезжей частью. В результате этого в наиболее ответственный для службы дороги период весеннего оттаивания воронки находятся в промерзшем состоянии и не могут отводить воду, выделяющуюся при оттаивании грунта земляного полотна и скапливающуюся в песчаном основании под проезжей частью. Поэтому в местах с неблагоприятными грунтово-геологическими условиями (при удельном объеме притока воды в сутки $q \geq 0,005-0,007$ м³/сут на 1 м² проезжей части, а также на участках с нулевыми отметками и в выемках) воду из дренирующего слоя отводят поперечными дренажами из асбестоцементных керамических или пластмассовых (гончарных) труб, укладывая их в основании земляного полотна у кромки проезжей части (рис 10.15). Вместо труб могут быть устроены прорези, заполненные крупным дренирующим материалом или фильтром из геотекстильных материалов.

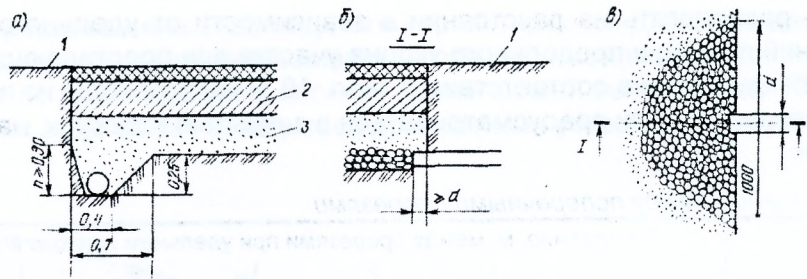


Рис. 10.15. Дренажные трубы для осушения песчаного основания: а – продольная дрена; б – поперечная дрена; в – поперечная дрена в плане; 1 – обочина; 2 – дорожная одежда; 3 – песчаное основание

10.6. Основы расчета дренажа

Дренаж устраивают для перехвата или понижения уровня грунтовых вод. Целесообразно дренажи располагать под боковыми канавами, где они доступны для ремонта в случае заиливания.

Перехватывающий, экранящий дренаж устраивают обычно в откосах выемок, если выемка перерезает водоносный слой до водоупора. В этом случае приток воды на 1 м длины дренажа вычисляется по данным обследования водоносного слоя $q = K \cdot h \cdot i_e$, где K – коэффициент фильтрации, определяемый испытанием образцов грунта; h – глубина воды в слое; i_e – уклон водоносного слоя.

На длине l собирается расход воды, подлежащий отводу, $Q = q \cdot l = K \cdot h \cdot i_e \cdot l$.

Для пропуска такого количества воды необходима труба, размер которой может быть найден из равенства $Q = K_d \cdot \sqrt{i_d}$, где i_d – уклон дренажной трубы; K_d – расходная характеристика дренажной трубы, м³/с, вычисляемая по формуле (для асбоцементных и гончарных труб) $K_d = 24d^{8/3}$; d – диаметр трубы, м.

Скорость течения воды в трубе должна быть не очень высокой, но и не слишком малой (во избежание заиливания). Рекомендуется, чтобы фактическая скорость течения была не меньше 0,6 м/с и не превышала допускаемой скорости для фильтрующей обсыпки дренажа. Скорость течения в круглой дренажной трубе может быть подсчитана по формуле $V_d = W_d \cdot \sqrt{i_d}$, где W_d – скоростная характеристика трубы, равная $30,4d^{2/3}$.

При строительстве дорог в местности с высокими уровнями грунтовых вод (УГВ) можно так высоко поднять бровку насыпи и проезжую часть, что понижения УГВ не потребуется. Однако иногда положение бровки насыпи бывает заданным, и изменить его невозможно. В этом случае единственный способ предохранить основание дорожной одежды от переувлажнения – понизить УГВ под земляным полотном.

Для этого боковые дренажи должны быть заложены на глубину, обеспечивающую заданное понижение уровня грунтовых вод.

Если при этом дренажи лягут на водоупор (рис.10.16а), то можно ограничиться устройством одной верхней дренажи (со стороны притока воды), расчет которой полностью совпадает с изложенным выше. За дренажной трубой пространство будет постепенно осушено. Такие дренажи называются совершенными. При глубоком залегании водоупора устраивают две дренажи, располагая их симметрично по обе стороны дороги, и оставляют их висющими, несовершенными (рис. 10.16б).

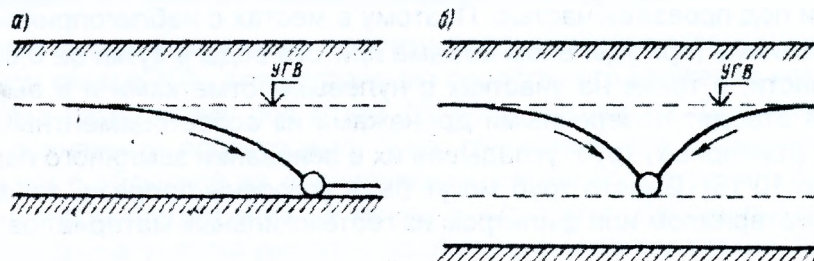


Рис. 10.16. Закрытые дренажи: а – совершенные; б – несовершенные

Для определения необходимой глубины заложения несовершенных дрен строят *кривые депрессии* (понижения) грунтовых вод, рассчитывают приток воды к дренам и их сечение (аналогично приведенному выше).

Каждая из дрен осушает некоторое пространство, предельная ширина которого, отсчитываемая в одну сторону от дрены, называется радиусом действия дренажа $R = H \cdot \operatorname{tg} \alpha$, где $\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла наклона хорды, стягивающей кривую депрессии (рис. 10.17).

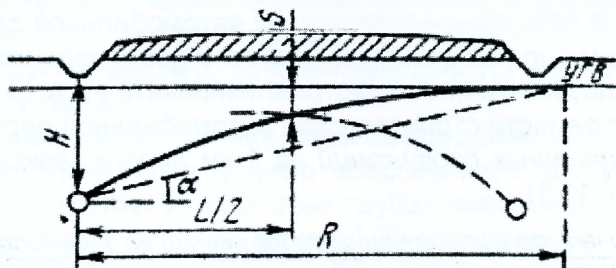


Рис 10.17. Схема к расчету подкуветного дренажа

Форма кривой депрессии представляет собой параболу второй степени (см. рис. 10.17) с уравнением изменения глубины вдоль потока $h = H \cdot \sqrt{1 - x/R}$.

Зная расстояние между двумя дренами L , получаем расчетное уравнение понижения уровня воды в середине дороги $S = H \cdot (1 - \sqrt{L/2R})$.

11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

11.1. Общие положения

Малые водоотводные системы устраивают в местах пересечения автомобильной дороги с ручьями, оврагами или балками, по которым стекает вода от дождей или таяния снега. Количество водопропускных сооружений зависит от климатических условий и рельефа, а стоимость их составляет 8-15% общей стоимости автомобильной дороги с усовершенствованным покрытием. Поэтому правильный выбор типа и рациональное проектирование водопропускных сооружений, позволяющие индустриализировать их устройство, имеют большое значение для снижения стоимости строительства автомобильной дороги.

Количество искусственных сооружений на 1 км дороги зависит главным образом от рельефа местности (табл. 11.1).

Таблица 11.1. Среднее количество искусственных сооружений на 1 км дороги

Район строительства дороги	Среднее количество сооружений на 1 км	Район строительства дороги	Среднее количество сооружений на 1 км
Пустыни и полупустыни	0,3	Сильно пересеченный рельеф	1,0-1,5
Болотистые районы	1,0	Горные районы	1,5-2,0
Равнины	0,5-1,0	Районы искусственного орошения	3,0
Среднехолмистый рельеф	0,7-1,2		

К основным видам водопропускных сооружений относят малые мосты и трубы. Меньшее распространение имеют другие типы сооружений, пропускающих воду переливом через земляное полотно – лотки. Лотки, укрепляемые мощением, допускается применять на дорогах низших категорий (IV и V) при пересечении периодически действующих водотоков, с глубиной перелива не более 0,15-0,20 м.

Применявшиеся некоторое время фильтрующие водопропускные сооружения в виде наброски крупных камней, через которую просачивается вода, не оправдали себя в эксплуатации и могут использоваться только как временные и на второстепенных дорогах, в местах, где стекающая вода не содержит наносов, заиливающих промежутки между камнями.

Большую часть водопропускных сооружений (более 95%) строящихся на автомобильных дорогах, составляют трубы. Их преимущества:

- 1) не меняют условий движения автомобилей, поскольку их можно располагать при любых сочетаниях плана и профиля дорог;
- 2) не стесняют проезжую часть и обочины;
- 3) не требуют изменения типа дорожного покрытия;
- 4) могут строиться в полносборном варианте из железобетонных и бетонных элементов небольшой массы, что позволяет пользоваться кранами малой грузоподъемности.

Устройство мостов предъявляет более высокие требования к продольному профилю дорог. Их недостатки:

- 1) расположение мостов на вертикальных и горизонтальных кривых или на больших продольных уклонах вызывает усложнение их конструкции;
- 2) на мостах иногда приходится применять иной тип покрытия, чем на подходах;
- 3) значительная высота насыпи, например, при пересечении глубоких оврагов вынуждает строить даже при малых расходах воды мосты с большой длиной поверху, что приводит к значительному удорожанию сооружения; вызывает затруднения и косое пересечение водотоков мостами.

Все указанные обстоятельства позволяют рассматривать трубы как основной тип малых водопропускных сооружений на постоянных и периодически действующих водотоках. Мосты применяют только в тех случаях, когда трубы не могут обеспечить пропуск всей воды, притекающей к дороге.

В современном дорожном строительстве наибольшее распространение находят железобетонные мосты и трубы стандартных типов из сборных элементов, заранее изготовленных на централизованных базах. Основным типом железобетонных труб являются так называемые унифицированные трубы (круглые и прямоугольные), применяемые как для автомобильных, так и для железных дорог.

Для увеличения пропускной способности сооружения без повышения высоты насыпи устраивают *многоочковые трубы* из уложенных рядом нескольких труб. Наблюдения показали, что в этих случаях расход равномерно распределяется между трубами. Однако трубы с числом очков *более четырех неэкономичны*. В этих случаях следует переходить к мостам.

При пропуске расчетных паводков трубы должны работать, как правило, в *безнапорном режиме*, когда на всем протяжении сооружения поток соприкасается по свободной поверхности с воздухом. Как исключение на автомобильных, а иногда и на городских дорогах допускается *полунапорный или напорный режим* (с затопленным входом в сооружение) при условии принятия конструктивных мер, обеспечивающих устойчивость труб и земляного полотна против фильтрации воды.

При безнапорном режиме протекания воды возвышение высшей точки внутренней поверхности трубы над уровнем воды должно обеспечивать пропуск плавущих случайных предметов и составлять в круглых и сводчатых трубах высотой до 3 м не менее 1/4 высоты трубы в свету, а высотой более 3 м – не менее 0,75 м; в прямоугольных трубах высотой до 3 м – не менее 1/6 высоты трубы в свету, а высотой более 3 м – не менее 0,5 м.

На автомобильных и городских дорогах используют трубы отверстием не менее 0,75 м (в кюветах на съездах с дороги – не менее 0,5 м). В целях удобства эксплуатации рекомендуется применять при длине менее 20 м трубы отверстием не менее 1,0 м, а при большей длине – отверстием не менее 1,25 м. Трубы *нельзя укладывать* на постоянных водотоках, где возможны наледи и ледоход.

11.2. Водопропускные трубы на автомобильных дорогах

Трубы на автомобильных дорогах *целесообразно устраивать* на суходолах при ограниченном расходе воды и в оврагах.

Основные размеры трубы определяются:

- отверстием (шириной в свету);
- высотой входной части;
- длиной.

Длина трубы зависит от:

- ширины земляного полотна;
- высоты насыпи;
- уклонов откосов насыпи над трубой;

– типа оголовков. Оголовки предназначены для сопряжения насыпи с трубой и для плавного входа и выхода воды.

Трубы состоят из отдельных звеньев или элементов для удобства укладки. При больших уклонах дна водотока трубу делают с уступами, чтобы уменьшить скорость течения воды в трубе (рис. 11.16).

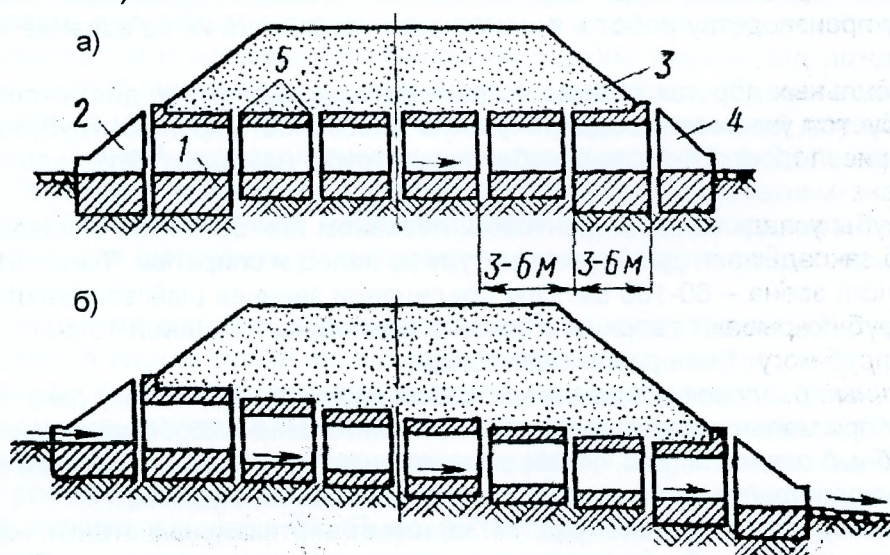


Рис. 11.1. Конструкции труб: а – на горизонтальном участке; б – на уклонном участке; 1 – лоток; 2 – входной оголовок; 3 – земляная засыпка; 4 – выходной оголовок; 5 – швы

Каменные и бетонные трубы сооружают редко, так как они обходятся дороже железобетонных. Каменные трубы в поперечном сечении бывают параболической или эллипсоидальной формы. Отверстия таких труб делают от 0,75 до 4-5 м. Подошвы фундаментов труб закладывают ниже глубины промерзания грунта на 25-30 см.

Трубы из железобетона наиболее распространены, так как они обладают большой прочностью, долговечностью и им можно придать любую форму. Их можно изготавливать на месте строительства или на заводе железобетонных изделий.

Железобетонные трубы выдерживают большую скорость течения воды – до 6 м/с. Труба простейшей конструкции состоит из плитного железобетонного перекрытия на бетонных устоях, на которые плита опирается свободно (рис. 11.2а) или используется как распорка (рис. 11.2б). Лоток трубы обычно устраивают из каменной шашки или бетона.

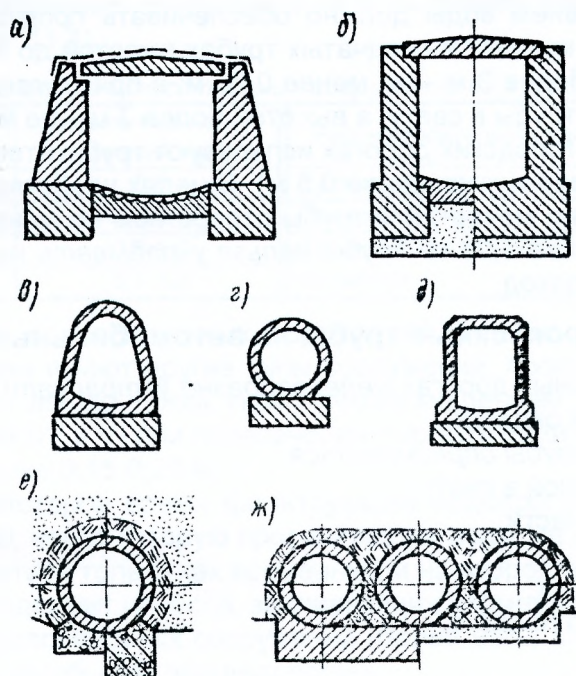


Рис. 11.2. Типы железобетонных труб

В слабых грунтах отдельный фундамент устраивают сплошным (правая половина, рис. 11.2б). Прямоугольные трубы могут иметь вид рамы (рис. 11.2а). Реже устраивают трубы параболического сечения (рис. 11.2в) из-за более сложного производства работ.

При небольших расходах воды чаще применяют *круглые трубы* (рис. 11.2г, е, ж) благодаря простому производству работ и возможности устройства их из заранее приготовленных звеньев.

На автомобильных дорогах обычно устраивают круглые трубы, диаметром 0,75, 1,0 и 1,5 м. Если требуется увеличить водопропускную способность круглых труб, их сдваивают или страивают (рис. 11.2ж). Такие железобетонные трубы называют *двух- или трехочковыми*.

Круглые трубы укладывают на грунтовом, песчаном или бетонном основаниях. В стенках круглых труб закладывают двойную арматуру из колец и спиралей. Толщина стенки – 8-16 см, длина одного звена – 60-100 см. При соединении звеньев швы заливают горячим битумом. Звенья труб покрывают сверху и с боков слоем глины толщиной 15 см.

Оголовки труб могут быть различной формы:

1. *портальный оголовок* представляет собой вертикальную стенку (рис. 11.3а). Такие оголовки делают при малых отверстиях труб и незначительных скоростях течения воды;
2. *раструбный оголовок* (рис. 11.3б) с расходящимися крыльями дороже портального, однако вход и выход воды из трубы при таком оголовке более плавный;
3. *оголовок коридорного типа* (рис. 11.3в) имеет вертикальные стенки, направленные сначала параллельно оси трубы, а затем плавно расходящиеся в стороны. Для его устройства расходуется много материала, и он сложен в исполнении. Поэтому на вновь проектируемых трубах такие оголовки применяют редко;

4. на *воротниковые оголовки*, срезанные наклонно в плоскости откоса насыпи, требуется мало бетона, однако они не обеспечивают плавного входа воды в трубу (рис. 11.3г);

5. *обтекаемые оголовки* (рис. 11.3д, е) дают возможность работать трубе полным сечением. Кроме того, повышенное звено трубы позволяет принять воду с большим подпором, что на 25-35% увеличивает пропускную способность трубы. Недостаток таких оголовков – более сложное производство работ.

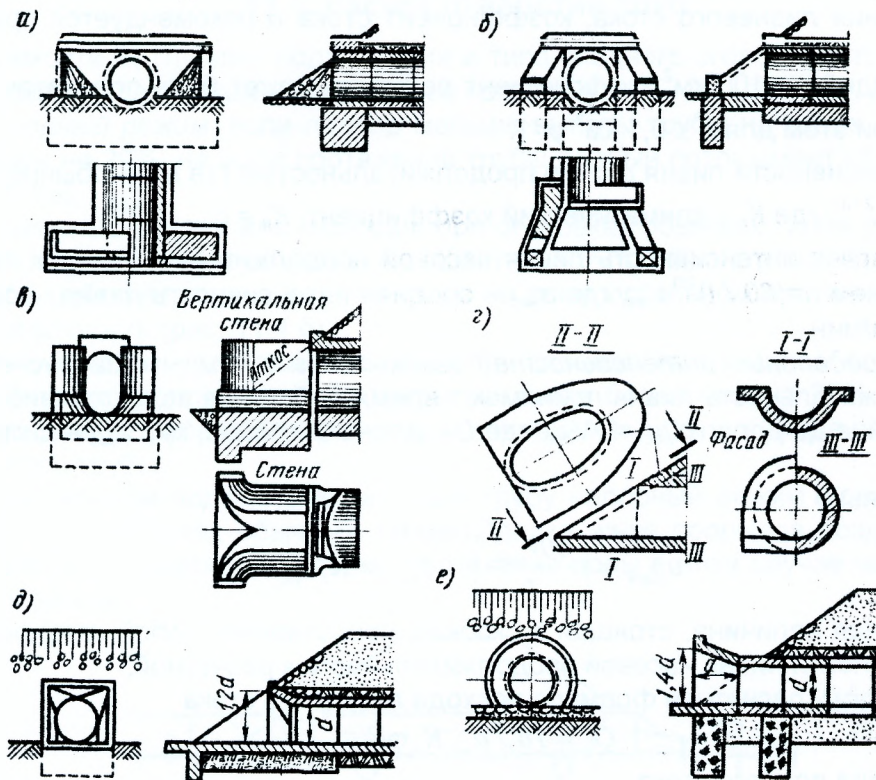


Рис. 11.3. Конструкции оголовков труб

11.3. Определение расчетных расходов

Территория, на которой формируется сток поверхностных вод к данному искусственному сооружению, называется **водосборным бассейном**. Линия, соединяющая наиболее низкие точки бассейна, называется **талwegом**.

Количество воды, притекающей к сооружению с малого водосбора, поддается теоретическим расчетам, изучаемым в курсе гидрологии, в ходе которых неизбежны различные допущения (условности) и погрешности. *Наиболее трудно учесть* ход дождя во времени, ход снеготаяния и впитывания воды в почву. Поэтому расходы и объемы воды с малых бассейнов вычисляют по *нормам стока*, т. е. с одинаковой схематизацией для всех водосборов и со стандартной оценкой метеорологических факторов стока в определенных географических районах. Проверкой норм стока является сопоставление расчетных значений стока с наблюдаемыми. Как правило, таких наблюдавшихся значений стока оказывается немного, при этом наибольшие затруднения вызывает оценка вероятности их превышения еще большим значением стока.

Общепризнанными для всех видов инженерного проектирования в Беларуси в настоящее время являются *нормы стока талых вод*. Расчеты ливневого стока в проектных организациях различных ведомств выполняют по различным эмпирическим формулам.

Гидрологические расчеты в Беларуси производят в соответствии со СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» и пособия к этому СНиП – П1-98.

Принцип расчета стока с малых водосборов, так называемый метод *предельных интенсивностей*, использованный в СНиП, может быть реализован и в других модификациях, наиболее подходящих для расчета транспортных сооружений.

В основе всех расчетов лежит общая *формула ливневого стока*

$$Q_{\text{л}} = 16,7 a_{\text{расч}} F \alpha \varphi, \quad (11.1)$$

где $a_{расч}$ – расчетная интенсивность ливня той же вероятности превышения, что и искомый расход, мм/мин, зависящий от продолжительности ливня; F – площадь водосбора, км², определяемая по карте в горизонталях; α – коэффициент стока, формально зависящий от вида грунтов на поверхности водосбора; φ – коэффициент редукции, учитывающий неполноту стока, тем большую, чем больше водосбор.

Учитывая задержку проникания воды в грунт при сильных ливнях, т. е. фактические условия образования ливневого стока, коэффициент стока α рекомендуется принимать равным 1,0.

Для площадей до 100 км² коэффициент редукции может быть подсчитан по формуле $\varphi = 1/\sqrt[4]{10F}$, при этом для $F \leq 0,1$ км² $\varphi = 1$.

Связь интенсивности ливня a с его продолжительностью t (в мин) обычно принимается в виде $a = K_n / t^{2/3}$, где K_n – климатический коэффициент; $K_n = a_{час} \cdot 60^{2/3}$.

Вводя в расчет интенсивность ливня часовой продолжительности (эти ливни хорошо изучены), получаем $a = (60/t)^{2/3} a_{час}$, где $a_{час}$ – средняя интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин.

Принцип предельных интенсивностей заключается в том, что за расчетную, самую опасную продолжительность ливня принимают время добега воды от наиболее удаленной точки бассейна до дороги: $t_{расч} = LV_{доб}$, где L – длина бассейна, км; $V_{доб}$ – скорость добега, км/мин.

Следовательно

$$a_{расч} = \left(\frac{60V_{доб}}{L} \right)^{2/3} a_{час} = K_t a_{час}. \quad (11.2)$$

Безразмерная величина, стоящая в скобках, представляет собой коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной.

Таким образом, расчетная формула расхода ливневого стока

$$Q_3 = 16,7 a_{час} K_t \varphi F, \quad (11.3)$$

а формула расхода полного стока

$$Q_{пс} = 87,5 a_{час} F. \quad (11.4)$$

Объем ливневого стока (м³) определяется как произведение слоя стока h_n на коэффициент редукции и площадь водосбора F , т.е. $W = 60000 a_{час} \frac{F}{\sqrt{K_t}} \varphi$.

Малые водопропускные сооружения рассчитывают обычно на пропуск лишь части расчетного ливневого расхода. На пропуск полного ливневого расхода их следует рассчитывать только в случае полного стока, т. е. при продолжительности расчетного ливня не более 5 мин, когда переходный коэффициент K_t достигает максимального значения 5,24.

На основании Пособия П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» распространяющихся на проектирование всех видов сооружений (в том числе малых мостов и труб), расчетный максимальный расход талых вод для любых бассейнов определяется по редукционной формуле

$$Q_T = \frac{K_0 \cdot h_p \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(F+1)^{0,20}} \cdot F, \quad (11.5)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; h_p – расчетный слой суммарного (с учетом грунтового питания) стока, мм, ежегодной вероятностью превышения (P); μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды; δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер; δ_1 , δ_2 – коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды, соответственно, в залесенных и заболоченных водосборах.

Расчет слоя стока половодья заданной вероятности превышения производится по трем параметрам: среднему многолетнему слою стока \bar{h} , коэффициенту вариации C_v , и коэффициенту асимметрии C_s слоя стока.

Расчетный слой стока $h_p = K_p \cdot \bar{h}$, где K_p – модульный коэффициент для заданной вероятности превышения (обеспеченности) P .

Обеспеченность расчетных максимальных расходов для малых мостов и труб принимается: I категория – 1%; II, III, городские улицы и дороги – 2%; IV, V и внутрихозяйственные дороги – 3%.

11.4. Расчет отверстий труб

В зависимости от глубины подтопления и типа входного оголовка в трубах могут устанавливаться следующие режимы протекания потока воды:

– *безнапорный режим*, если подпор меньше высоты трубы на входе либо превышает ее не более чем на 20%; на всем протяжении трубы водный поток имеет свободную поверхность (рис. 11.4 а);

– *полунапорный режим*, возникающий при оголовках обычных типов (портальных, раструбных) в тех случаях, когда подпор превышает высоту трубы на входе более чем на 20%; на входе труба работает полным сечением, а на всем остальном протяжении поток имеет свободную поверхность (рис. 11.4 б);

– *напорный режим*, устанавливающийся при специальных входных оголовках обтекаемой формы и при подтоплении верха трубы на входе более чем на 20% (рис. 11.4 в); на большей части длины труба работает полным сечением и лишь у выхода поток может отрываться от потолка трубы.

При значительном подтоплении входа в трубу напорный режим может возникать периодически и при оголовках обычных типов. Однако из-за прорывов воздуха через образующуюся у входного отверстия воронку, протекание воды в этом случае часто переходит в полунапорный режим.

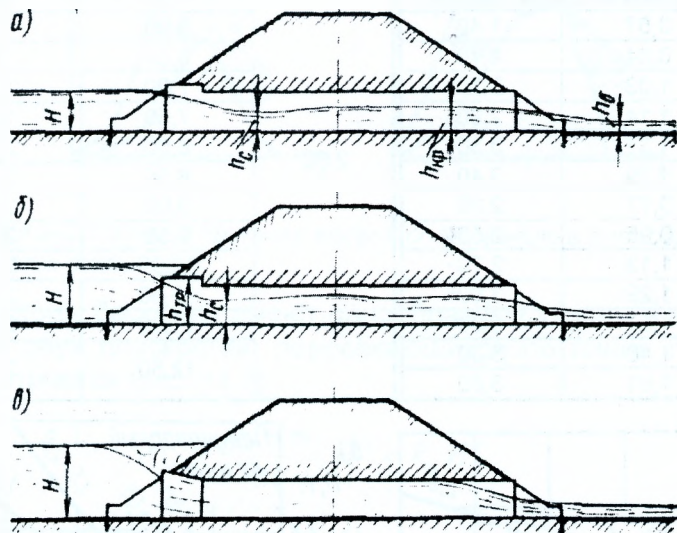


Рис. 11.4. Режимы работы труб: а – безнапорный; б – полунапорный; в – напорный

В связи с невысокой точностью определения притока воды к сооружению можно при расчете отверстий сооружений ограничиться *упрощенными расчетами*. Приближенные расчетные формулы пропускной способности труб соответствуют трем режимам протекания воды в трубах:

а) безнапорный режим (аналогия – водослив с широким порогом)

$$Q_c = \varphi_0 \omega_c \sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (11.6)$$

где Q_c – расход воды, проходящей в сооружении; ω_c – площадь сжатого сечения в трубе, вычисляемая при глубине $h_c = 0,5H$; φ_0 – коэффициент скорости.

Для прямоугольных сечений $Q_c = 1,33bH^{3/2}$;

б) полунапорный режим (аналогия – истечение из-под щита)

$$Q_c = \varphi_n \varepsilon \omega_c \sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (11.7)$$

где $h_c = 0,6h_{вх}$; $h_{вх}$ – высота входа в трубу.

При обычных значениях $\varphi_n=0,85$ и $\varepsilon=0,6$ – $Q_c = 0,5 \omega_{ax} \sqrt{2g(H - 0,6h_{ax})}$;

в) напорный режим (аналогия – истечение из трубопровода)

$$Q_c = \varphi_n \omega_T \sqrt{2g(H - h_T)}, \quad (11.8)$$

где ω_T, h_T – площадь сечения и высота основного протяжения трубы; φ_n – коэффициент скорости, для обтекаемого оголовка – 0,95.

На основе расчетных формул пропускной способности труб при разных режимах протекания воды *составляют расчетные таблицы* (табл. 11.2) *или графики пропускной способности* типовых труб (рис. 11.5). Полностью такие таблицы и графики приводятся в типовых проектах, в том числе для унифицированных труб, нашедших широкое применение в строительстве.

Таблица 11.2. Гидравлические характеристики типовых круглых труб

Диаметр отверстия, м	Расход, м³/с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с	Диаметр отверстия, м	Расход, м³/с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с
Портальный оголовок							
0,75	0,20	0,41	1,40	1,50	3,90	1,74	3,80
	0,40	0,62	1,70		4,50	2,19	3,90
	0,60	0,79	2,00		4,80	2,27	4,00
Раструбный оголовок с нормальным входным звеном							
1,00	0,60	0,68	2,10	1,75	4,50	1,47	3,20
	0,80	0,81	2,30		4,70	1,75	3,70
	1,00	0,93	2,40		5,00	1,81	3,70
	1,20	1,05	2,60		6,00	2,08	4,10
	1,40	1,16	2,80		4,50	1,47	3,20
Раструбный оголовок с коническим входным звеном							
1,00	0,80	0,57	1,40	2,00	5,00	1,55	3,30
	1,00	0,84	2,40		5,50	1,65	3,40
	1,40	1,03	2,70		6,00	1,73	3,50
	1,65	1,14	2,90		6,50	1,81	3,60
	2,00	1,31	3,30		7,00	1,90	3,70
	2,20	1,39	3,40		7,50	1,98	3,80
1,25	1,00	0,77	2,20	8,00	2,06	3,90	
	1,50	0,95	2,50	8,50	2,14	4,00	
	2,00	1,13	2,70	9,00	2,22	4,10	
	2,50	1,29	3,00	9,50	2,31	4,20	
1,50	2,70	1,37	3,20	10,00	2,38	4,30	
	3,00	1,46	3,30	10,50	2,46	4,30	
	3,50	1,61	3,50	11,00	2,54	4,50	
				12,50	2,78	4,80	

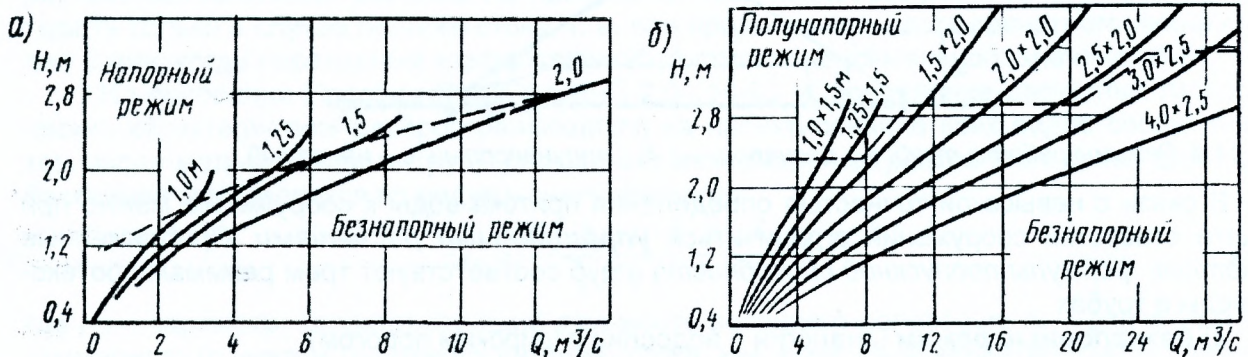


Рис. 11.5. График для определения пропускной способности типовых труб: а – круглых; б – прямоугольных (цифры на кривых – отверстия труб, м)

11.5. Учет аккумуляции ливневых вод перед малыми водопропускными сооружениями

При назначении отверстий труб *необходимо учитывать аккумуляцию ливневых вод* в пруду перед сооружением. При этом заранее нельзя назвать степень снижения расчетного расхода, так как глубина воды перед сооружением (глубина пруда) еще неизвестна. Это ос-

ложняет расчет и заставляет выполнять его либо путем последовательных приближений, либо графоаналитическим методом.

Малые искусственные сооружения почти всегда сильно стесняют поток и изменяют его бытовой режим. В результате временного накопления перед сооружением части паводка гидрограф притока трансформируется в более растянутый во времени гидрограф сброса, что приводит к снижению расчетного сбросного расхода ливневых вод в сооружении Q_c по сравнению с наибольшим секундным притоком с бассейна Q_n (рис. 11.6а). Объем накопившейся воды W_{np} при общем объеме стока W зависит от гидрографа притока, отверстия сооружения и рельефа участка местности, в пределах которого образуется временный водоем.

Расход воды в отверстии сооружения определяется высотой подпора воды над входным лотком. При узких, ярко выраженных логах с большим уклоном этот подпор даже в течение ливневого паводка обычно достигает размеров, обеспечивающих практическое равенство расхода воды в отверстии наибольшему секундному притоку. Объем воды, накопившейся перед сооружением, по сравнению с объемом всего паводка оказывается незначительным и практически не влияет на расход в сооружении. При определении отверстия сооружения в таких случаях в качестве расчетного расхода может приниматься наибольший расход водотока заданной вероятности превышения. Также без учета аккумуляции следует производить расчет малых сооружений на пропуск паводков от таяния снега, всегда растянутых во времени (рис. 11.6б).

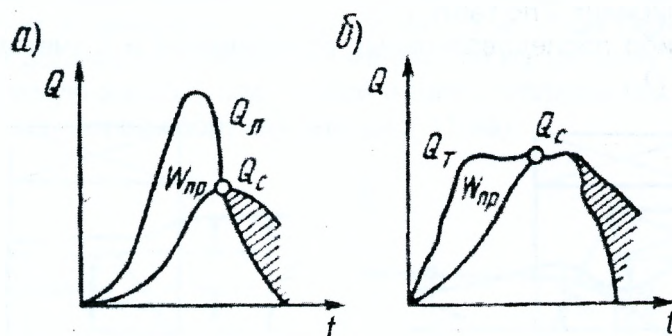


Рис. 11.6. Трансформация гидрографа притока воды к сооружению в гидрограф сбросных расходов: а – ливневый сток; б – сток талых вод

Принимая, что склоны бассейна имеют однообразные уклоны и могут быть упрощенно представлены в виде двух плоскостей, пересекающихся по линии лога, эту зависимость можно выразить аналитически (рис. 11.7)

$$W_{np} = \frac{m_1 + m_2}{6i_n} H^3 = k_o H^3, \quad (11.9)$$

где m_1, m_2, i_n – крутизна склонов лога и его уклон.

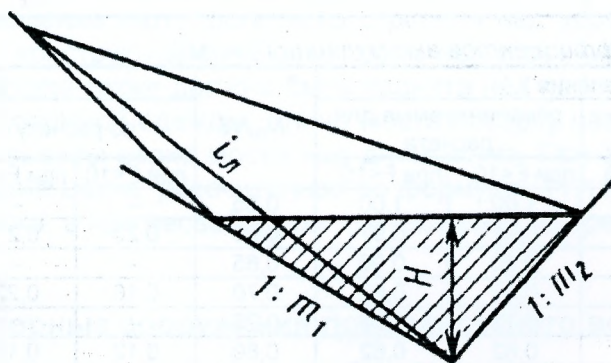


Рис. 11.7. Схема к определению объема пруда

Принимая треугольную форму гидрографов притока и сбросных расходов, получим (см. рис. 11.6)

$$Q_c = Q_n \left(1 - \frac{W_{np}}{W} \right) = Q_n \left(1 - \frac{k_o H^3}{W} \right) = Q_n \cdot \lambda. \quad (11.10)$$

Величина λ , учитывающая рельеф местности и размеры отверстия сооружения, может быть названа коэффициентом аккумуляции и легко вычислена при известных a , H и W .

11.6. Расчет отверстий малых мостов и определение высоты сооружений

Расчет отверстий малых мостов (рис. 11.8) обычно следует производить по схеме свободного истечения, пользуясь формулой

$$b = \frac{Q_c}{1,33 H^{3/2}}. \quad (11.11)$$

Зная, что $H \approx 2h_c = 1,45 V_c^2 / g$, принимают такую последовательность расчета:

1) задают скорость V_c по желательному типу укрепления русла под мостом (табл. 11.3).

Задавая скорость V_c , следует учитывать, что она будет наблюдаться в потоке лишь на очень коротком протяжении в зоне глубины h_c , в связи с чем эти скорости можно повышать приблизительно на 10%;

2) вычисляют напор H ;

3) вычисляют объем пруда $W_{np} = k_o H^3$;

4) находят коэффициент λ по табл. 11.4.

Тогда без каких-либо последовательных приближений и с учетом аккумуляции воды перед насыпью $Q_c = \lambda \cdot Q_n$.

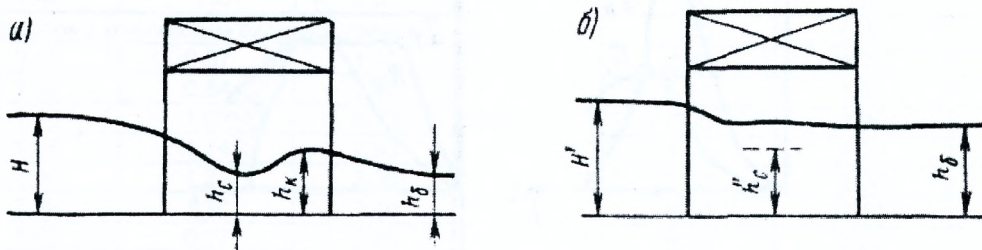


Рис. 11.8. Схемы протекания воды под малым мостом: а – свободное протекание; б – несвободное протекание

Таблица 11.3. Допускаемая скорость на размыв укрепления русла

Тип укрепления	Допускаемая скорость, м/с	Тип укрепления	Допускаемая скорость, м/с
Засев травой	0,8	Двойное мощение камнем 15-25см	3,5-4,5
Одерновка плашмя	1,0	Укрепленный грунт, мощностью 5см и 10 см	1,0 и 2,5
Одерновка в стенку	1,8	Бетон низких марок	4,0-6,0
Одиночное мощение на щебне камнем 15-25см	2,5-3,5	Бетонные плиты	5,0-7,0

Таблица 11.4. Значения коэффициентов аккумуляции (F в км²)

W_{np}/W	Значения λ				W_{np}/W	Значения λ			
	по расчету		рекомендуемые для расчета			по расчету		рекомендуемые для расчета	
	при $F < 10$	при $F > 10$	при $F < 10$	при $F < 10$		при $F < 10$	при $F > 10$	при $F < 10$	при $F < 10$
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,55	–	–	0,26	0,31
0,05	–	–	0,97	0,97	0,60	0,23	0,27	0,23	0,27
0,10	0,88	0,84	0,90	0,90	0,65	–	–	0,20	0,24
0,15	–	–	0,82	0,82	0,70	0,16	0,22	0,17	0,21
0,20	0,72	0,74	0,73	0,73	0,75	–	–	0,14	0,18
0,25	–	–	0,62	0,62	0,80	0,12	0,15	0,12	0,15
0,30	0,53	0,55	0,53	0,55	0,85	–	–	0,10	0,12
0,35	–	–	0,45	0,50	0,90	0,07	0,09	0,08	0,09
0,40	0,40	0,45	0,45	0,45	0,95	–	–	0,04	0,05
0,45	–	–	0,35	0,40	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,28	0,35	0,30	0,35					

Принимая для осуществления типовой проект моста с отверстием b_0 , следует пересчитать напор

$$H = \left(\frac{Q_c}{1,35b_0} \right)^{2/3} \quad (11.12)$$

При очень глубоком потоке воды в отводящем русле отверстие моста рассчитывают по схеме *несвободного истечения* (рис. 11.8б), которое наступает после того, как прыжок, возникновение которого возможно в сжатом сечении, где $h_c < h_{кр}$, будет надожно затоплен бытовым уровнем. При несвободном истечении необходимое отверстие моста

$$b = \frac{Q_c}{h_6 \cdot v_c} \quad (11.13)$$

Сбросный расход рассчитывают по формуле

$$Q_c = Q_1 \left(1 - \frac{W_{np}}{0,7W} \right), \quad (11.14)$$

с вычислением объема пруда по ожидаемой глубине волны перед сооружением

$$H' = h_6 + \frac{v_c^2}{2g \cdot \varphi_c^2} \quad (11.15)$$

Отметка насыпи у труб назначается не менее чем на 1,0 м выше подпертого уровня воды при полунапорном и напорном режимах и на 0,5 м – при безнапорном. Над верхом трубы отметка насыпи должна быть выше, не менее чем на толщину дорожной одежды. Это обеспечивает необходимую засыпку над трубой и неподтопляемость дорожной одежды при длительном стоянии воды перед сооружением (рис. 11.9а).

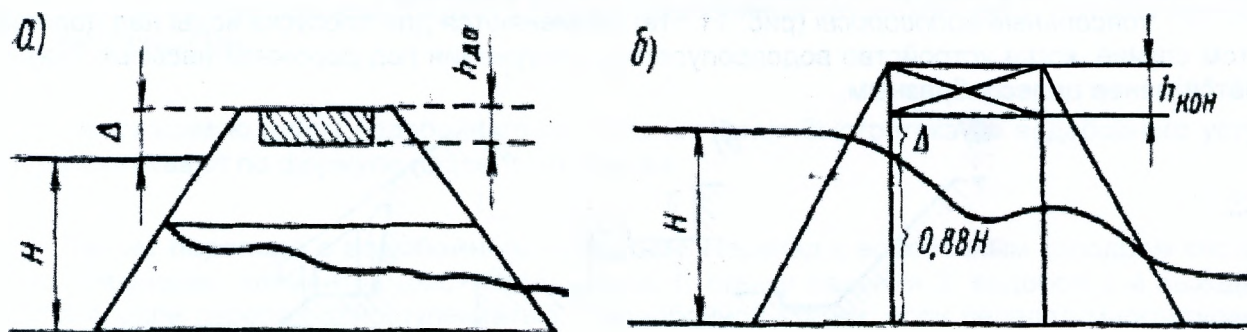


Рис. 11.9. Схемы определения высоты насыпи у водопропускных сооружений (а) и высоты малого моста (б)

Высота малого моста (рис. 11.9б) определяется как

$$H_M = 0,88H + z + h_{кон}, \quad (11.16)$$

где 0,88 – коэффициент, учитывающий некоторое снижение уровня при входе потока под мост; $z \geq 0,25$ м – возвышение низа пролетного строения над уровнем воды; при наличии ледохода $z = 1,0$ м; $h_{кон}$ – конструктивная высота пролетных строений моста.

Бровка насыпи у моста также должна быть поднята над подпертым уровнем воды не менее чем на толщину дорожной одежды. Длина моста поверху назначается исходя из крутизны откоса конусов и высоты верха моста над дном лотка. При этом следует учитывать, что необходимое отверстие моста, рассчитанное по формуле (11.11), отсчитывается по свободной поверхности потока, а при несвободном протекании – по средней линии (т. е. на глубине $0,5h_6$).

11.7. Косогорные сооружения поверхностного водоотвода

Для предупреждения размыва мостов и труб на косогорах, а также и склонов косогоров текущей водой устраивают подводящие и отводящие русла (рис. 11.10) в виде *быстротоков, перепадов с водобойными колодцами, консольных водосбросов* и т. п.

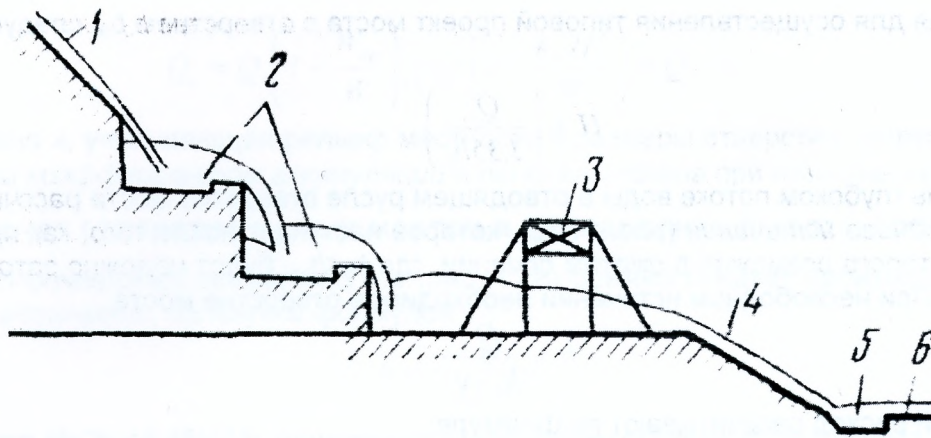


Рис. 11.10. Косогорные сооружения у малого моста: 1 – естественное русло; 2 – перепады с водобойными колодцами; 3 – мост; 4 – быстроток; 5 – водобойный колодец; 6 – уступ

Искусственные русла проектируют в соответствии с местными условиями, имея в виду следующие характеристики отдельных типов косогорных сооружений:

- *быстротоки* (рис. 11.11а) применяются на любых уклонах, но в связи с большой скоростью протекания воды в местах сопряжения быстротока с другими сооружениями необходимо предусматривать устройство гасителей энергии, а сам быстроток укреплять в соответствии со скоростью потока;
- *перепады с водобойными колодцами* (11.11б) применяются, главным образом, на значительных уклонах (перепады без водобойных колодцев практически не устраивают, так как они могут быть размещены только на очень малых уклонах);
- *консольные водосбросы* (рис. 11.11в) применяются для пропуска воды над дорогой в том случае, когда устройство водопропускного сооружения под дорожной насыпью оказывается менее целесообразным.

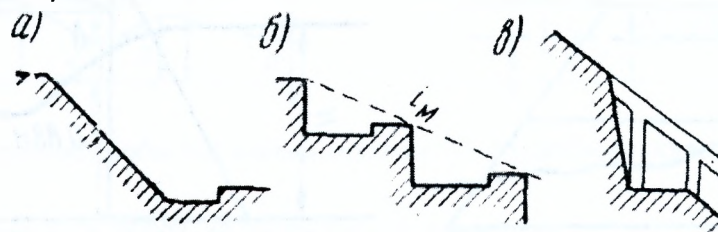


Рис. 11.11. Основные типы косогорных сооружений: i_m – уклон местности

Расчет быстротока. Быстротоком (рис. 11.12) называют искусственное русло, уклон которого больше критического. Последовательность гидравлического расчета быстротока следующая.

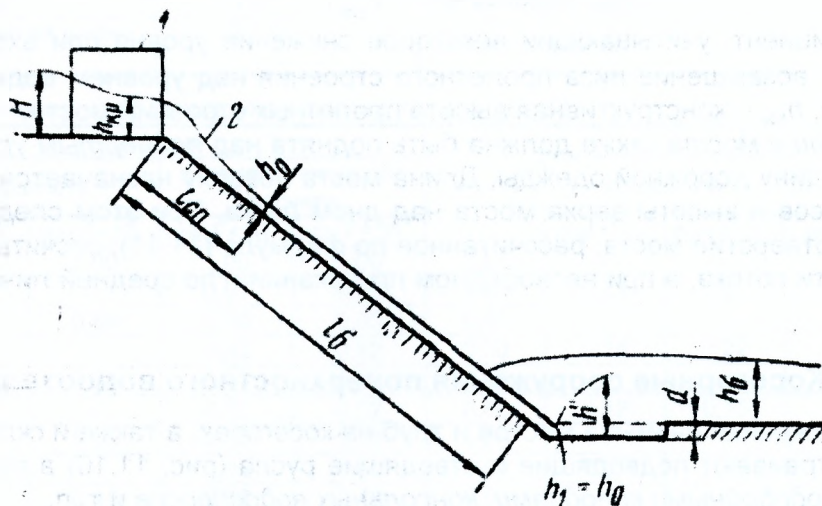


Рис. 11.12. Расчетная схема быстротока: 1 – входной оголовок; 2 – кривая спада

1. Определяют ширину быстротока по заданным скорости течения воды V_0 , уклону I и шероховатости:

$$b = \frac{n \cdot Q}{h_0^{5/3} \cdot I^{2/3}} = \frac{Q \cdot I^{3/4}}{h^{3/2} \cdot V_0^{5/2}}, \quad (11.17)$$

где n – коэффициент шероховатости быстротока, назначаемый с учетом аэрации, зависящей от уклона и материала стенок быстротока; h_0 – глубина воды в быстротоке; V_0 – допустимая скорость течения на быстротоке. Формула выведена в предположении, что гидравлический радиус мало отличается от глубины потока.

2. Определяют глубину воды в конце быстротока

$$h = \frac{Q}{b \cdot V_0}. \quad (11.18)$$

3. Определяют глубину воды на входе в быстроток из канала с уклоном $I < I_{кр}$, которая равна критической

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Q}{g \cdot b^2}}. \quad (11.19)$$

4. Выясняют условия затопления струи на выходе из быстротока в русло с уклоном меньше критического. Для этого вычисляют вторую сопряженную глубину прыжка

$$h'' \approx 0,45 \cdot V_0 \cdot \sqrt{h_0}. \quad (11.20)$$

Если глубина h_0 в русле за быстротоком больше, чем глубина за прыжком h'' , то прыжок затоплен, и скорость за быстротоком определяется глубиной потока h_0 . Если же эта глубина меньше, чем глубина h'' (т. е. $h_0 < h''$), то в целях сокращения участка высоких скоростей в русле за быстротоком следует устроить водобойный уступ (колодец), глубина которого определится как

$$d = 1,1 \cdot h'' - h_0. \quad (11.21)$$

Необходимую длину водобойного колодца (от конца быстротока до водобойного уступа) рассчитывают по формуле подпертого прыжка

$$l_{кол} = 3 \cdot (h'' - h_0). \quad (11.22)$$

Расчет перепада с водобойным колодцем. Перепад с водобойным колодцем состоит из следующих элементов (рис. 11.13): входа 1, стенки падения 2, водобоя 3 и выхода-уступа 4, если перепад одноступенчатый, и водобойной стенки, если перепад многоступенчатый.

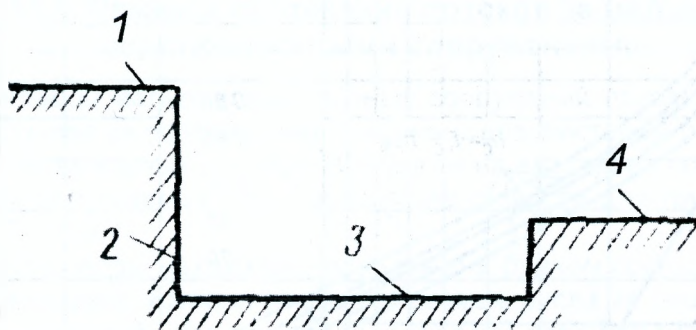


Рис. 11.13. Схема одноступенчатого перепада

Последовательность гидравлического расчета перепада с водобойным колодцем (рис. 11.14) следующая.

1. Назначают ширину водобойного колодца b исходя из нормы расхода 0,5-1,0 м³/с на 1 м ширины колодца. Чаще всего ширину колодца делают одинаковой с отверстием водопропускного сооружения. Высоту перепада p назначают путем деления разности отметок подводящего и отводящего сооружения на участке расположения перепадов на число перепадов, назначаемое сначала ориентировочно.

2. Определяют глубину воды на входе, равную критической, по формуле (11.19).

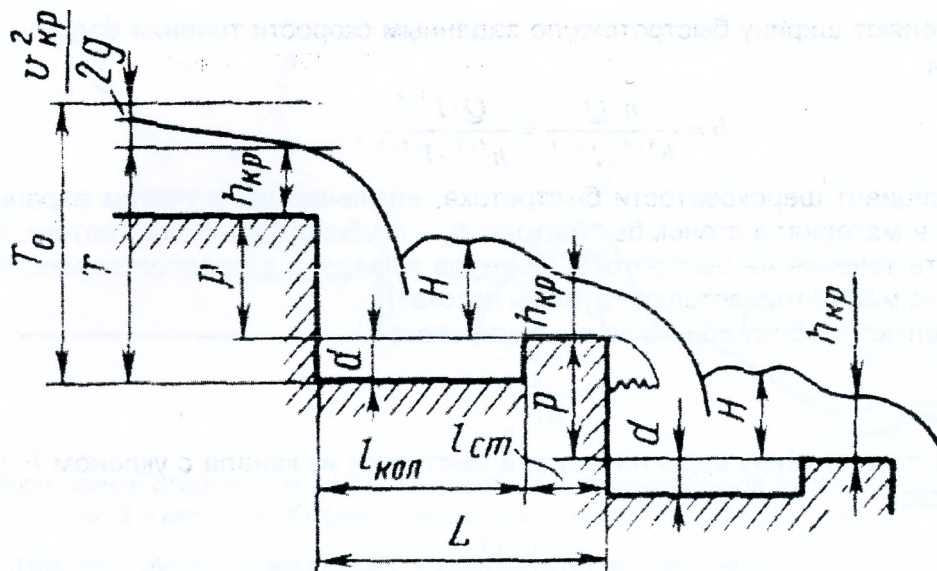


Рис. 11.14. Расчетная схема многоступенчатого перепада

3. Определяют глубину в сжатом сечении падающей струи. Для этого подсчитывают энергию сечения на входе, задаваясь ориентировочно глубиной колодца d

$$T_0 = 1,5 \cdot h_{кр} + p + d. \quad (11.23)$$

Определяют относительную энергию

$$\xi_{T_0} = \frac{T_0}{h_{кр}} = 1,5 + \frac{p + d}{h_{кр}}. \quad (11.24)$$

По графику (рис. 11.15) определяют относительную глубину после прыжка в сжатом сечении, задавая коэффициент скорости φ

$$\xi_c'' = \frac{h_c''}{h_{кр}} \quad (11.25)$$

и вычисляют глубину после прыжка

$$h_c'' = \xi_c'' \cdot h_{кр}. \quad (11.26)$$

Порядок пользования графиком показан стрелками на рис. 11.15.

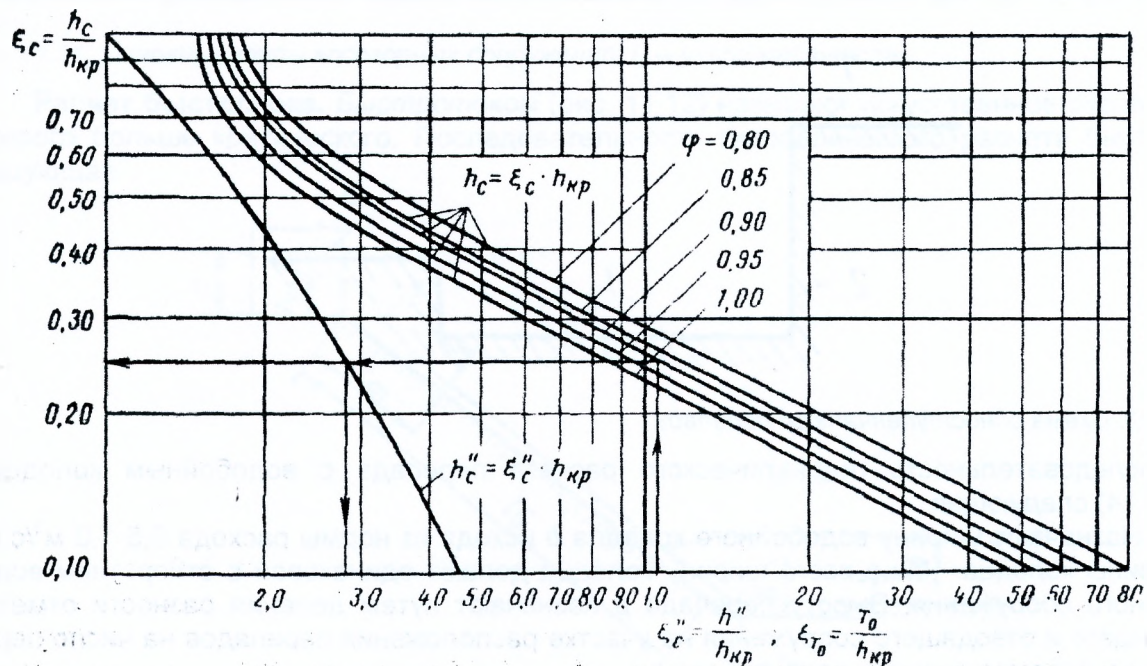


Рис. 11.15. График для расчета перепадов

4. Определяют глубину воды перед водобойной стенкой

$$h = H + d = 1,7 \cdot h_{кр} + d. \quad (11.27)$$

5. Проверяют достаточность заданной глубины колодца. Необходимо, чтобы

$$h \geq 1,1 \cdot h_c''. \quad (11.28)$$

Если это равенство не выполняется, то глубину колодца, заданную ориентировочно, изменяют и расчет по формулам повторяют снова, пока условие не будет выполнено.

6. После расчета глубины колодца определяют минимально допустимую его длину

$$l_{кол} = l_{над} + l_{пр}, \quad (11.29)$$

где $l_{над} = V_{кр} \cdot \sqrt{2y/g}$, $l_{пр} = 3 \cdot (h_c'' - h_c')$. Здесь $V_{кр}$ – скорость в сечении на входе

$$V_{кр} = \frac{Q}{b \cdot h_{кр}}; \quad (11.30)$$

y – высота падения струи и $y = p + d + 0,5h_{кр}$; h_c'' – глубина после прыжка в сжатом сечении, h_c' – глубина в сжатом сечении в колодце, определяемая по графику на рис. 11.15, по которому аналогично величине ξ_c'' определяется величина ξ_c' и глубина воды в сжатом сечении $h_c' = \xi_c' \cdot h_{кр}$.

7. Длина водобойной стенки (толщина водосливного порога) рассчитывается как

$$l_{ст} = 3 \cdot h_{кр}. \quad (11.31)$$

8. Проверяют вписывание перепада в профиль местности, для чего определяют уклон перепада

$$I = \frac{P}{l_{ст} + l_{кол}}. \quad (11.32)$$

Этот уклон должен быть не меньше того, которым характеризуется косогор. Если же уклон косогора меньше уклона перепада, то длину каждого колодца увеличивают, что только улучшает условия затопления струи. Длина колодца, соответствующая заданному уклону местности

$$l_{кол.м} = \frac{P}{i_m} - l_{ст} > l_{кол}. \quad (11.33)$$

11.8. Режимы протекания потоков за малыми водопропускными сооружениями

Опыт эксплуатации малых искусственных сооружений показывает, что в подавляющем большинстве случаев их повреждения связаны с воздействием потока воды, и размывы обычно начинаются на выходных участках. Скорости на выходе из сооружения достигают 5-6 м/с, в то время как допускаемые неразмывающие скорости для грунтов отводящих русел составляют всего 0,7-1,0 м/с.

Вытекающий поток воды находится чаще всего в *бурном состоянии* и обладает большой *кинетической энергией*, которая вызывает размыв русла за сооружением. В большинстве случаев русло нижнего бьефа за водопропускными сооружениями имеет большую ширину, чем ширина отверстия водопропускного сооружения. Характер пространственного движения потока в очень широком нижнем бьефе зависит от глубины воды в нем и параметров потока на выходе из сооружения.

В зависимости от бытовой глубины потока в укрепленном отводящем русле возможны три формы сопряжения потока, выходящего из водопропускного сооружения, с бытовым потоком в широком нижнем бьефе, когда $V_{русла} > 8b_{соор}$.

1. Сопряжение по типу затопленной струи. Этот вид сопряжения наблюдается, когда струя, вытекающая из сооружения, будет полностью затоплена (рис. 11.16а). В нижнем бьефе происходит растекание струи в массу воды; при этом наблюдается постепенное уменьшение скоростей течения вдоль потока.

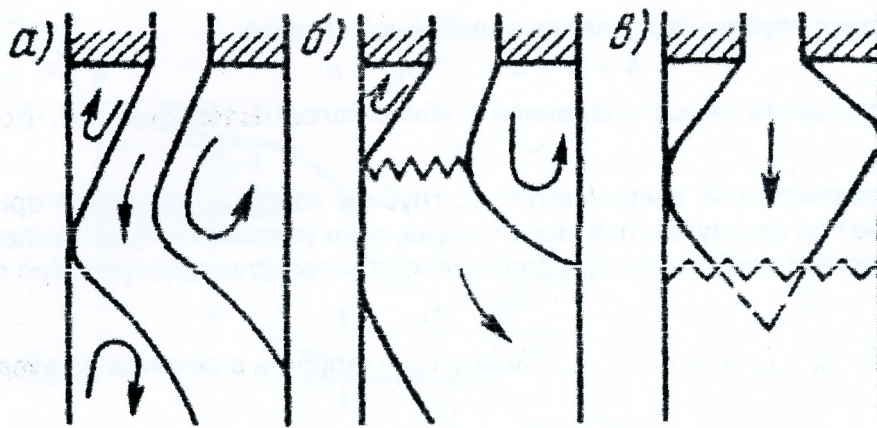


Рис. 11.16. Сопряжение потоков в отводящем русле за сооружением

2. Сопряжение по типу сбойного течения. Этот вид сопряжения наблюдается при глубине нижнего бьефа, несколько меньшей глубины, сопряженной с глубиной на выходе из сооружения. Сбойному течению присущи некоторые опасные свойства (рис. 11.16б).

Поток, выходящий из сооружения в нижний бьеф, движется сначала без растекания в стороны. С боковых сторон поток граничит с водоворотными зонами, которые могут сжимать транзитный поток. При глубинах нижнего бьефа, близких к глубине, сопряженной с глубиной на выходе из сооружения, происходит свал потока в одну сторону, и сопряжение бьефов осуществляется в форме пространственного гидравлического прыжка. В результате прорыва воды в одну из водоворотных зон динамическая ось потока искривляется. Поэтому транзитная струя натекает на боковые стенки отходящего русла. Уменьшение скоростей в транзитной струе и выравнивание их по сечению отводящего русла происходит очень медленно. Поэтому *требуется крепление* не только дна, но и стенок отводящего русла на значительном протяжении.

3. Сопряжение по типу свободного растекания бурного потока. Поток, выходящий из отверстия, попадает в отводящее русло, глубина в котором меньше, чем глубина на выходе из сооружения. Под действием силы тяжести происходит растекание потока в стороны (по направлению к берегам). В результате этого область растекания бурного потока, сопрягающаяся с бытовым потоком и водными массами нижнего бьефа посредством косых гидравлических прыжков, принимает в плане характерную форму «лепестка» (рис. 11.16в).

При увеличении бытовой глубины в нижнем бьефе размеры «лепестка» уменьшаются, пока не произойдет переход к сбойному течению, когда бытовая глубина сравняется с глубиной, сопряженной с глубиной на выходе из сооружения пространственным прыжком.

Растекание бурного потока в узких нижних бьефах (при относительной ширине нижнего бьефа ($B_{русла} < 8b_{соор}$) характеризуется рядом особенностей:

- поток, выходящий из сооружения, растекается в стороны. Так же как и в предыдущем случае, зона растекания сопрягается с водоворотными зонами посредством косых гидравлических прыжков. В местах набегания крайних струек потока на боковые стенки отводящего русла, т. е. в сечении полного растекания, происходит внезапное увеличение глубин и образование косых гидравлических прыжков. Эти косые гидравлические прыжки распространяются вниз по течению, если бытовой поток находится в бурном состоянии;
- если бытовой поток находится в спокойном состоянии, в отводящем русле наблюдается обычный прямой гидравлический прыжок. С увеличением бытовой глубины прямой гидравлический прыжок придвигается ближе к своему предельному положению в сечении полного растекания;
- если глубина нижнего бьефа больше глубины, при которой прямой гидравлический прыжок располагается в сечении полного растекания, происходит прорыв водных масс в водоворотные зоны и переход к сбойному течению (рис. 11.17).

Для предотвращения размывов выходных участков следует защищать лог на определенной длине. *Защита от размыва* заключается в правильном выборе типа и размеров укрепления, которые назначают или из условия отсутствия местного размыва, или из допущения размыва, безопасного для устойчивости, как укрепленного участка русла, так и самого сооружения.

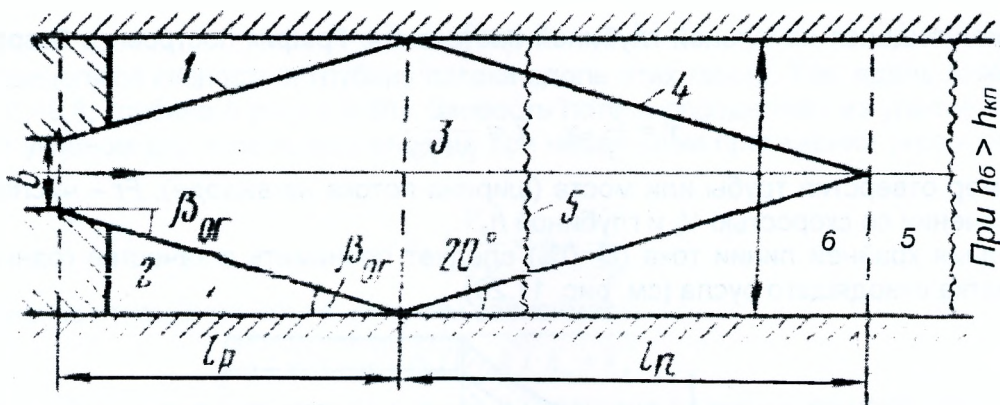


Рис. 11.17. Схема свободного растекания в узком русле: 1 – линия растекания; 2 – водоворот; 3 – сечение полного растекания; 4 – косой гидравлический прыжок; 5 – прямой гидравлический прыжок; 6 – конец зоны растекания

Назначение типа укрепления по скорости на выходе из трубы справедливо только для спокойных потоков. При растекании бурных потоков скорости получаются значительно большими, чем выходные. Скорость может увеличиться примерно в 1,5 раза.

Выходные участки *не укрепляют* только в тех редких случаях, когда скорости на выходе из сооружения весьма малы и не могут нарушить устойчивость, как самого русла, так и сооружения. В большинстве же случаев наблюдаются размывы неукрепленных русел, и правильное назначение укреплений выходных участков имеет не меньшее значение, чем определение размеров отверстий искусственных сооружений.

11.9. Гидравлические расчеты нижнего бьефа малых искусственных сооружений

Растекающийся в укрепленном отводящем русле бурный поток ограничен с боков косыми гидравлическими прыжками и водоворотными зонами. Косые гидравлические прыжки возникают в сечении полного растекания, где происходит набегание крайних струек растекающегося потока на боковые стенки отводящего русла. Продольный разрез потока показан на рис. 11.18.

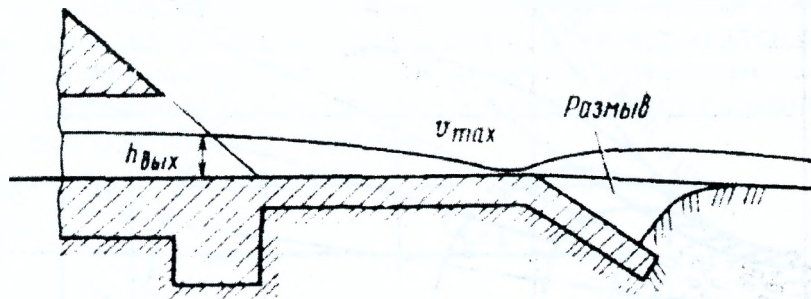


Рис. 11.18. Схема протекания потока по укреплению

При затоплении сечения полного растекания бытовым потоком происходит прорыв водных масс в водоворотные зоны и в отводящем русле возникает *опасное сбойное течение*. Для предотвращения этого переходный участок отводящего русла в плане следует устраивать в виде *раструба*, исключая появление сбойного течения (рис. 11.19). При устройстве раструба сопряжение бурного потока, вытекающего из сооружения, со спокойным потоком в русле будет осуществляться обычным прямым прыжком.

Для определения *скоростей и глубин потока* в области растекания, а также для определения боковых границ растекающегося потока можно воспользоваться универсальным графиком И. А. Шеренкова (рис. 11.20).

На универсальном графике нанесены линии тока и линии равных глубин и скоростей в области растекания потока (до продольной оси потока, являющейся осью симметрии). На графике линии тока даны через 10%, т. е. каждая линия тока отсекает струю, несущую 10% общего расхода Q . Линии равных глубин даны через $0,1h_0$, где h_0 – глубина на выходе из со-

оружения, являющаяся начальной глубиной растекания. График построен в безразмерных координатах:

$$\bar{y} = \frac{y}{b} \quad \text{и} \quad \bar{x} = \frac{x}{b \cdot Fr}, \quad (11.34)$$

где b – размер отверстия трубы или моста (ширина потока на выходе); Fr – число Фруда в выходном сечении со скоростью V_0 и глубиной h_0 .

Очертания крайней линии тока ($Q=0\%$) следует принимать в качестве границы переходного участка отводящего русла (см. рис. 11.20).

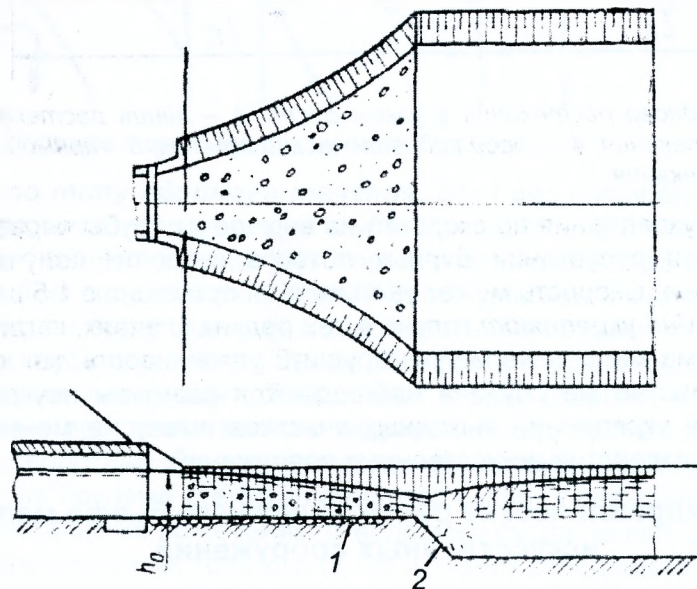


Рис. 11.19. Схема укрепления в виде раструба: 1 – плоское укрепление русла; 2 – предохранительный откос

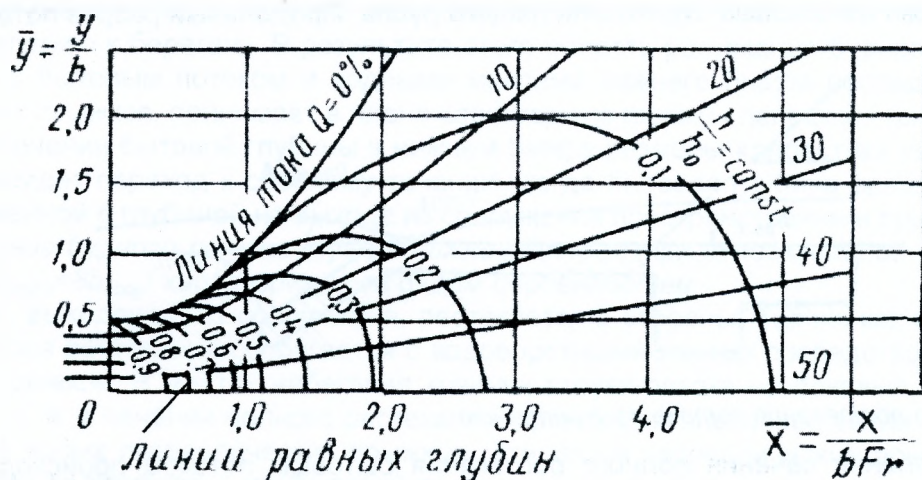


Рис. 11.20. Универсальный график И. А. Шеренкова

Глубины и скорости потока в отводящем русле определяют в следующем порядке.

1. Находят глубину h_0 и скорость потока V_0 на выходе из сооружения.
2. Определяют число Фруда на выходе

$$Fr = \frac{V_0}{(g \cdot h_0)^{1/2}}. \quad (11.35)$$

3. Пользуясь универсальным графиком (см. рис. 11.20), строят линии тока и линии разных глубин в зоне растекания. Для этого безразмерные координаты \bar{x} и \bar{y} , взятые с графика, умножают на $b \cdot Fr$ и b , получают действительные координаты линий тока и линий равных глубин:

$$x = \bar{x} \cdot b \cdot Fr \text{ и } \bar{y} = y \cdot b. \quad (11.36)$$

4. Определяют скорость и глубину потока вдоль этих линий. Так, вдоль линии, равной глубине $h/h_0=0,8$, глубина h равна $0,8h_0$. Скорость потока определяют из уравнения Бернулли, причем уклоном дна и потерями энергии при небольшом протяжении укрепления можно пренебречь

$$H = h_0 + \frac{V_0^2}{2g} = h + \frac{V^2}{2g}. \quad (11.37)$$

Обозначив отношение $h/h_0=k$, получим зависимость

$$v = \sqrt{2g \cdot (1-k) \cdot h_0 + V_0^2}. \quad (11.38)$$

Если необходимо учесть потери напора и уклон дна i_0 , задачу решают методом последовательных приближений, используя уравнение Бернулли в виде

$$h_{нач} + \frac{V_{нач}^2}{2g} = h_{кон} + \frac{V_{кон}^2}{2g} + h_w - i_0 \cdot \Delta l, \quad (11.39)$$

где Δl – расстояние вдоль линии тока между выбранными начальным и конечным сечениями.

В первом приближении определяют $V_{кон}$ и $h_{кон}$, принимая $h_w = 0$. По найденным значениям $V_{кон}$ и $h_{кон}$ определяют $h_{ср} = 0,5 \cdot (h_{нач} + h_{кон})$ и $V_{ср} = 0,5 \cdot (V_{нач} + V_{кон})$.

Затем находят уклон трения

$$I_w = \frac{V_{ср}^2}{(C \cdot \sqrt{h_{ср}})^2}. \quad (11.40)$$

Определив $h_w = I_w \cdot \Delta l$, уточняют значения $V_{кон}$ и $h_{кон}$, пользуясь уравнением Бернулли, и т.д.

11.10. Расчет размывов за укреплениями

Экономически нецелесообразно устраивать весьма длинные плоские укрепления отводящих русел за малыми мостами и трубами. Поэтому ограничиваются устройством коротких укреплений, заканчивающихся погребенным предохранительным откосом (рис. 11.21), у которого размыв развивается. При этом, как правило, прыжок сгоняется с укрепления в размыв. Однако благодаря значительной глубине заложения предохранительного откоса размыв оказывается безопасным для укрепления и отодвинутым на заданное расстояние от откоса насыпи и водопропускного сооружения.

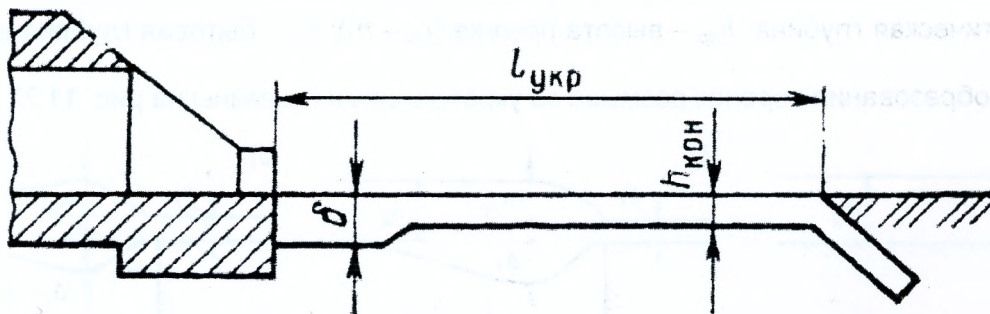


Рис. 11.21. Продольный разрез укрепления

Расчет глубины размыва, необходимый для назначения заглубления предохранительного откоса, может быть выполнен различными приемами. В дорожном строительстве широкое применение нашли формулы, основанные для свободного растекания бурного потока на уравнении прыжка, а для сбойного течения – на обычном уравнении прекращения размыва при снижении скорости до неразмывающей.

Пользуясь этими формулами, можно получить глубины размыва при свободном растекании бурного потока в зависимости от длины укрепления. Данные об относительных глубинах размыва (Δ/H) сведены в табл. 11.5.

Таблица 11.5. Относительные глубины размыва

$\frac{l_{укр} \cdot tg\beta}{b}$	Δ/H	$\frac{l_{укр} \cdot tg\beta}{b}$	Δ/H
0	1,55	4	0,59
1	0,98	5	0,54
2	0,78	8	0,45
3	0,65	10	0,40

Глубина размыва дана в долях глубины воды перед насыпью, определяющей энергию потока на выходе из сооружения. Приведенные глубины размыва могут считаться только приблизительными, так как вывод расчетной формулы не совсем строг. Однако эти глубины, как это следует из табл. 11.6, практически совпадают с глубинами размыва и высотами предохранительных откосов за унифицированными трубами, которые были определены непосредственно из лабораторного эксперимента. Следовательно, пользоваться этими простыми данными для назначения глубин заложения предохранительных откосов в случаях индивидуального проектирования защиты сооружений можно.

Таблица 11.6. Экспериментальные глубины размыва

Диаметр круглых труб, м	Ширина и высота прямоугольных труб, м	H , м	$\frac{l_{укр}}{b}$	$h_{отк}$	Δ по табл. 11.5
0,75	—	1,00	5,5	0,85	0,55
1,00	—	1,40	5,5	1,30	0,75
1,25	—	1,75	5,0	1,30	0,95
1,50	—	2,10	4,9	1,30	1,10
2,00	—	2,80	4,7	1,30	1,55
—	1,0x1,2	1,80	3,0	1,30	1,15
—	1,25x1,5	1,80	3,0	1,30	1,55
—	1,5x2,0	2,40	3,0	1,30	1,55
—	2,0x2,0	2,40	3,0	1,30	1,55

Расчет размывов при свободном растекании бурного потока получил дальнейшее развитие в работах М.В. Немчинова. Получена общая формула связи глубин потока на сходе с укрепления h_1 , и глубины потока h_2 после его резкого расширения в вертикальной плоскости (рис. 11.22б)

$$h_2 = \frac{h_{кр}^3 \cdot (h_2 - h_1)}{h_1 \cdot h_2 \cdot h_{np}} + \frac{h_{np}}{2}, \quad (11.41)$$

где $h_{кр}$ – критическая глубина; h_{np} – высота прыжка ($h_6 - h_1$); h_6 – бытовая глубина в отводящем русле.

Схемы образования воронок размыва за укреплениями показаны на рис. 11.22.

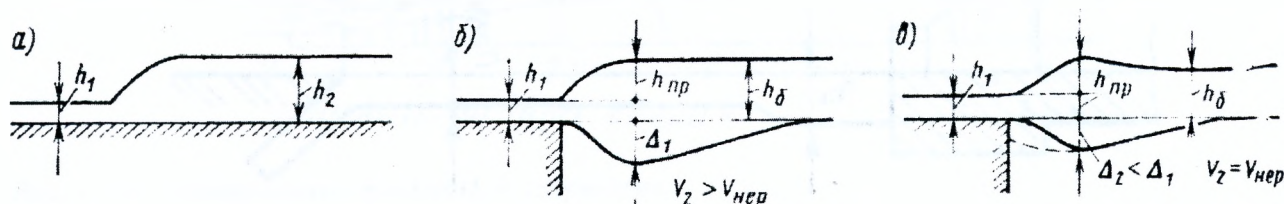


Рис. 11.22. Расчетные схемы к определению глубины размыва при свободном растекании

Формула (11.41) переходит в обычную формулу прыжка (рис. 11.22а) при отсутствии размыва ($\Delta=0$), когда глубина прыжка $h_{np} = h_2 - h_1$. При невозможности такого прыжка, т. е. при $h_2 > h_6$ в размываемом русле за укреплением, будет развиваться воронка размыва, глубина которой (рис. 11.22в)

$$\Delta_1 = \frac{h_{кр}^3}{h_1 \cdot h_{np}} - h_1 - h_{np}. \quad (11.42)$$

Такой предельной глубины воронка размыва достигает при весьма слабых грунтах, плохо сопротивляющихся размыву. При более прочных грунтах воронка с глубиной Δ_1 не разовьется, а ее глубина окажется равной (рис. 11.22в)

$$\Delta_2 = \frac{q}{k \cdot V_n} - \frac{q}{V_1} - \frac{k \cdot V_n (V_1 - k \cdot V_n)}{g} < \Delta_1, \quad (11.43)$$

где q – элементарный расход воды; V_n – неразмывающая скорость для грунта; V_1 – скорость схода потока с укрепления; k – коэффициент, учитывающий повышенную турбулентность потока в яме размыва ($\approx 0,6$).

Для приблизительного определения расхода центральной струи и скорости течения на кромке укрепления через $q_{\text{вых}}$ и $V_{\text{вых}}$ (т. е. на выходе из сооружения) можно воспользоваться табл. 11.7, составленной по данным опытов М. В. Немчинова.

Таблица 11.7. Расход центральной струи q и скорость V на кромке укрепления

$\frac{l_{\text{укр}}}{b}$	$\frac{q}{q_{\text{вых}}}$	$\frac{V_1}{V_{\text{вых}}}$	$\frac{h_1}{h_{\text{вых}}}$	$\frac{l_{\text{укр}}}{b}$	$\frac{q}{q_{\text{вых}}}$	$\frac{V_1}{V_{\text{вых}}}$	$\frac{h_1}{h_{\text{вых}}}$
0,0	1,00	1,00	1,00	5,5	0,16	0,58	0,28
1,5	0,43	0,83	0,52	7,5	0,11	0,46	0,24
3,5	0,22	0,71	0,31	11,0	0,10	0,43	0,23

При сбойном течении, возникающем при значительных бытовых глубинах нижнего бьефа (в отводящем русле), размыв (рис. 11.23) определяется как

$$\Delta_3 = \frac{k_1 \cdot q_{\text{сб}}}{k_o \cdot v_n} - h_o, \quad (11.44)$$

где $k_1 = 2,65$ – коэффициент сбойности; $k_o = 0,75$ – коэффициент повышения турбулентности потока в яме размыва.

12. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

12.1. Виды переходов через водотоки

Автомобильные дороги пересекают многочисленные реки, ручьи, периодические водотоки и водохранилища ГЭС.

Для преодоления каждого водного препятствия строят систему сооружений, называемую переходом водотока. В состав перехода через водоток (рис. 12.1) входят:

- 1) искусственное сооружение, служащее для пересечения собственного водотока;
- 2) подходы к искусственному сооружению, устраиваемые обычно в виде земляных насыпей, откосы которых постоянно или периодически омываются водой;
- 3) регулирующие и защитные сооружения, предназначенные для предохранения искусственного сооружения и подходов к нему от возможных повреждений водным потоком.

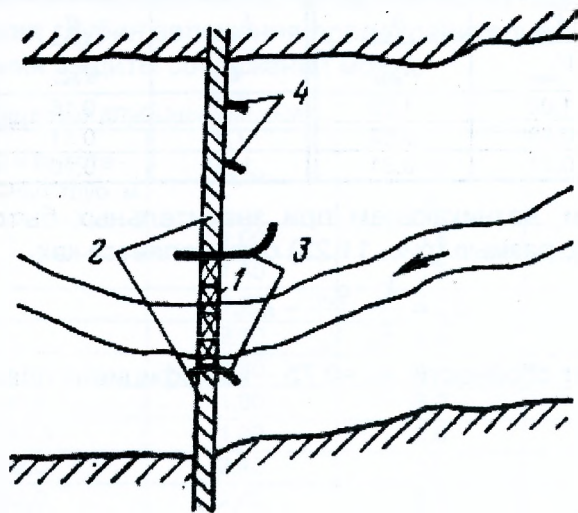


Рис. 12.1. План мостового перехода: 1 – искусственное сооружение; 2 – подходы; 3 – струенаправляющие сооружения (дамбы); 4 – траверсы

Искусственные сооружения и подходы к нему являются основными транспортными сооружениями перехода через водоток. Регуляционные и защитные сооружения обычно называют вспомогательными, так как непосредственно по ним движение автомобилей или поездов не происходит. Однако в подавляющем большинстве случаев без устройства вспомогательных сооружений невозможно обеспечить сохранность и нормальную работу основных сооружений перехода. Кроме того, в некоторых сложных условиях пересечения водотоков стоимость регулирующих и защитных сооружений очень высока, а иногда превышает половину стоимости всего перехода в целом. Поэтому, несмотря на вспомогательные функции регулирующих и защитных сооружений, их нельзя считать второстепенными. Необходимо одинаково серьезно относиться к проектированию, строительству и эксплуатации всех сооружений.

Переходы через водотоки классифицируют по типам искусственных сооружений. Для пересечения водотока могут быть построены:

- 1) мост – сооружение, проводящее дорогу над водным препятствием;
- 2) тоннель – сооружение, проводящее дорогу под водным препятствием;
- 3) фильтрующая дамба – сооружение, пропускающее воду через пористую кладку;
- 4) паром – подвижное устройство, перевозящее автомобили и вагоны через водное препятствие.

Наибольшее распространение получили переходы, где в качестве искусственных сооружений применены мосты, поэтому мостовые переходы являются основным видом переходов через водотоки. Как правило, в состав мостового перехода входит один мост, перекрывающий русло реки (рис. 12.2а). На реках с очень широким разливом за пределы русла во время подъема уровня воды можно устраивать несколько мостов на одном переходе (рис. 12.2б). Дополнительные мосты, располагаемые вне русла, называют пойменными.

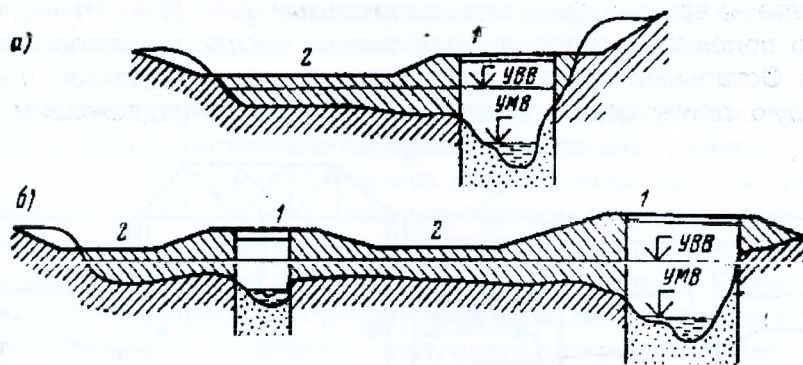


Рис. 12.2. Схемы мостовых переходов: а – с одним мостом; б – с двумя мостами; 1 – мост; 2 – насыпь

Для обеспечения непрерывного проезда автомобилей при всех уровнях воды в водотоке мосты и подходы к ним устраивают *незатопляемыми, высоководными* (рис. 12.2). Только в отдельных случаях на временных и временно восстановленных путях сообщения или на автомобильных дорогах самых низких категорий, пересекающих значительные водотоки, допускается устройство *низководных мостовых переходов*, на которых подходы, а иногда и мосты затопляются *высокими водами реки* (рис. 12.3). На мостовых переходах через судоходные реки, кроме постоянных мостов, иногда применяют *разводные*, движение по которым периодически прерывают на короткое время для пропуска судов.

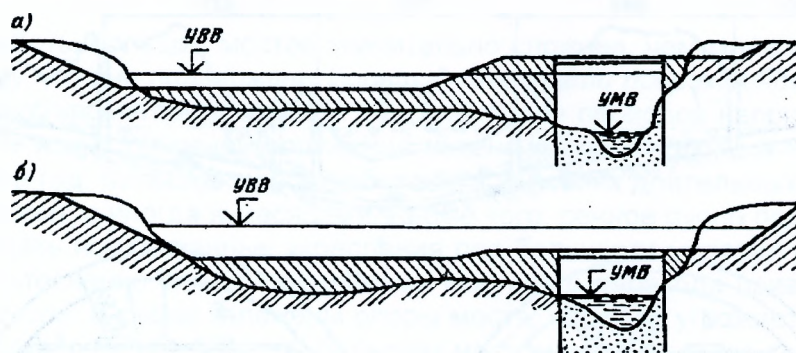


Рис. 12.3. Схемы низководных мостовых переходов: а – с затопляемой насыпью; б – полностью затопляемый

Мостовые переходы с **наплавными мостами** обеспечивают путь через водоток на протяжении значительной части года, но характеризуются перерывами движения по дороге во время осеннего и весеннего ледохода и в периоды малой толщины льда. После того как лед достигнет толщины, необходимой для безопасного проезда транспортных средств, устраивают ледяные переправы, являющиеся заменой наплавных мостов на зимнее время. На судоходных реках наплавные мосты периодически не функционируют и в теплое время года из-за вывода звеньев моста для пропуска судов.

Наплавные мосты устраивают при пересечении широких многоводных рек, когда строительства моста на постоянных опорах, обеспечивающего круглогодичное непрерывное движение, еще не требуется по интенсивности движения на дороге.

Если дорога проходит через акваторию устьевого морского порта, устройство обычного моста становится затруднительным. В этих условиях можно применить *мост-транспортер*, представляющий собой легкую ферму, которая расположена на большой высоте, обеспечивающей беспрепятственный пропуск морских судов. По ферме передвигается тележка, к которой на тросах подвешена платформа, перевозящая грузы с одного берега на другой.

Мосты по длине делятся на три группы:

- 1) мосты длиной до 25 м называют *малыми*;
- 2) от 25 до 100 – *средними*,
- 3) свыше 100 м – *большими*. К группе больших относят также мосты длиной менее 100 м, но с пролетами более 30 м.

Пролеты моста не всегда назначают одинаковыми (рис. 12.4). На судоходных реках в случае стабильного положения судового хода только часть пролетов приспособляют для пропуска судов. Остальные пролеты могут быть устроены существенно меньших размеров. Наивыгоднейшую длину малых пролетов выбирают с надлежащим экономическим обоснованием.

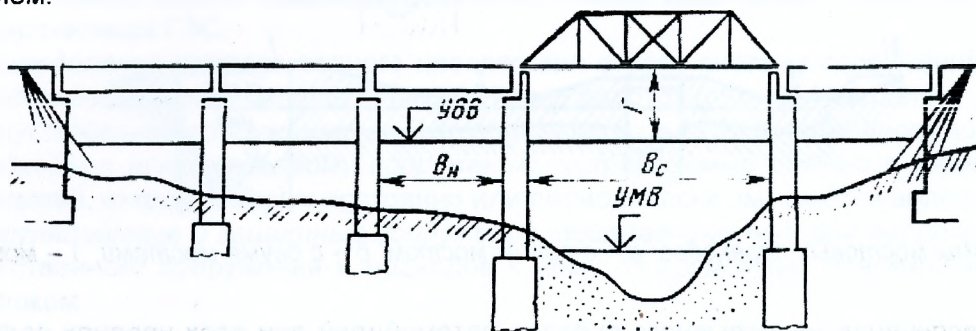


Рис. 12.4. Разбивка моста на пролеты с выделением пролетов для судоходства

Подводные тоннели (рис. 12.5) сооружают при пересечении больших рек в городах, где невозможно поднять мост так высоко, как это требуется для судоходства, а также в тех случаях, когда устройство моста нежелательно по каким-либо специальным причинам.

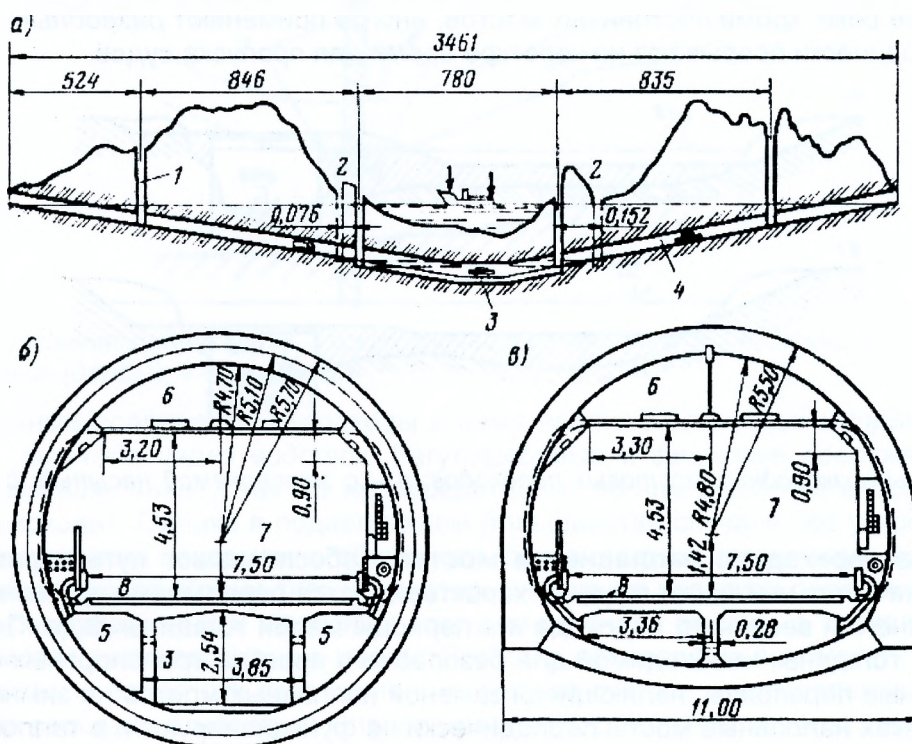


Рис. 12.5. Подводный тоннель: а – схематический продольный профиль; б – поперечный профиль подводного участка; в – поперечный профиль сухопутного участка; 1 – шахта; 2 – пионерная шахта и штольня; 3 – путь для пешеходов; 4 – тоннель для автомобилей; 5 – приток воздуха; 6 – вытяжка воздуха; 7 – проезд; 8 – покрытие

Они отличаются *высокой стоимостью* строительства по сравнению с другими видами искусственных сооружений, поэтому применение тоннельных переходов *ограничено*.

Паромные переправы применяются только на постоянных водотоках чаще всего как *временные сооружения*, действующие до строительства моста. Наибольшее распространение паромы получили на автомобильных дорогах местного значения. Значительно реже их применяют на автомобильных дорогах высоких категорий, так как простой транспортных средств в ожидании очередного рейса парома недопустим при большой грузонапряженности. Во многих случаях паромные переправы действуют только часть года: на реках с ледоставом в работе переправ возникают перерывы в те же периоды, что и для наплавных мостов.

Подходы к паромным переправам устраивают чаще всего затопляемыми на все время разлива реки за пределы русла. Это ограничивает возможность использования паромов во время паводков.

Только в отдельных случаях подходы к причалам переправы устраивают незатопляемыми, когда нежелательны длительные перерывы в перевозке грузов по дороге.

Количество малых мостов, труб и других искусственных сооружений, возводимых при пересечении небольших постоянных и главным образом периодических водотоков на сети автомобильных дорог, очень велико, однако стоимость каждого из них относительно мала, и поэтому суммарные затраты на их строительство незначительны. *Размещение этих искусственных сооружений*, объединяемых в одну категорию малых, всегда подчиняется трассированию дороги в связи с тем, что выбор наилучшего положения на местности для каждого малого моста или трубы может привести к значительному удлинению дороги, общему удорожанию ее строительства и возрастанию расходов на перевозки. Подчиняя расположение малого моста или трубы общему трассированию дороги, учитывают также, что в местах, недостаточно удобных по условиям пропуска воды, всегда имеется возможность значительного и относительно недорогого регулирования потока вплоть до устройства сплошного искусственного русла необходимого направления.

Стоимость строительства больших мостов и подходов к ним высокая и в сильной степени зависит от положения места перехода через реку. Поэтому места пересечений значительных постоянных водотоков являются *пунктами, определяющими положение всей дороги* на местности. Трассирование дороги на значительном протяжении у места перехода реки подчиняется при этом выбору оптимального места для строительства моста и подходов к нему.

Условия работы больших мостов значительно сложнее, чем малых искусственных сооружений, потому что они подвержены большей *опасности повреждения водным потоком*. В частности, это объясняется различной длительностью периодов напряженной работы сооружений: малые искусственные сооружения интенсивно работают на пропуск воды всего несколько часов в год; большие мосты работают в условиях длительных паводков, продолжающихся неделями, а иногда и месяцами. Кроме того, речное русло подвижно и легко размывается, а создать искусственные укрепления под большими мостами практически невозможно, поэтому стеснение реки сооружениями мостового перехода приводит к *обязательным размывам русла*. В русле заложены опоры моста, которым угрожает подмыв, в связи с чем увеличение скорости течения под большим мостом по сравнению со скоростью нестесненного потока существенно ограничивается.

Гидравлические расчеты, выполняемые при назначении размеров больших мостов и малых искусственных сооружений, значительно разнятся:

- 1) *для малых мостов и труб* ограничиваются в основном расчетом протекания водного потока в неразмываемом русле;
- 2) *для больших мостов* выполняют, прежде всего, русловые расчеты, учитывающие движение как потока воды, так и потока наносов в размываемом русле с целью определения возможного понижения дна реки под мостом.

Малые искусственные сооружения отличаются от больших мостов и по приемам *гидрологических расчетов при проектировании*. Для расчета притока воды к малым мостам и трубам используют *теоретико-эмпирические нормы стока*, дающие возможность назначать водопрпускную способность сооружений только со значительной погрешностью. Применение такого приема расчета объясняется отсутствием данных о непосредственных наблюдениях за стоком на малых водосборах, где строят малые мосты и трубы.

Для больших мостов эти приближенные расчеты недопустимы, так как применение норм, дающих значительную погрешность, может привести к повреждениям дорогостоящих сооружений или к еще большему их удорожанию. Для определения притока воды к большим мостам применяют *специальные методы гидрологических расчетов*, связанные с длительными натурными наблюдениями за реками и использованием методов математической статистики.

При проектировании средних мостов применяются как те, так и другие приемы гидрологических расчетов в зависимости от наличия натуральных данных.

12.2. Деление рек по видам питания и типам руслового процесса

Питание реки происходит *неравномерно*. В отдельные относительно короткие отрезки времени, называемые периодами *максимального стока*, в реку стекают огромные массы воды, образующиеся от сильных дождей, интенсивного таяния снега или ледников и составляющие значительную часть общего годового объема стока. Быстрое стекание в реку больших масс воды вызывает в ней резкое увеличение расхода и связанное с ним наполнение русла, т. е. подъем уровня воды, носящий название *половодья*. Термин «половодье» в проектной практике мостовых переходов часто заменяют словом «паводок». На различных реках половодья бывают в разное время года соответственно происхождению максимального стока.

Реки разделяют по типам питания на четыре группы:

I – реки с дождевыми половодьями, питающиеся в течение года преимущественно дождевыми водами;

II – реки с половодьями от талых вод, питающиеся в течение года преимущественно водами от таяния снега;

III – реки с половодьями от таяния ледников;

IV – реки с комбинированным (смешанным) питанием, половодья которых обусловлены дождевыми водами и стоком от таяния снега или ледников.

График изменения уровня воды во времени называется *водомерным графиком* для данного пункта и представляет собой наглядное изображение хода питания реки (рис. 12.6).

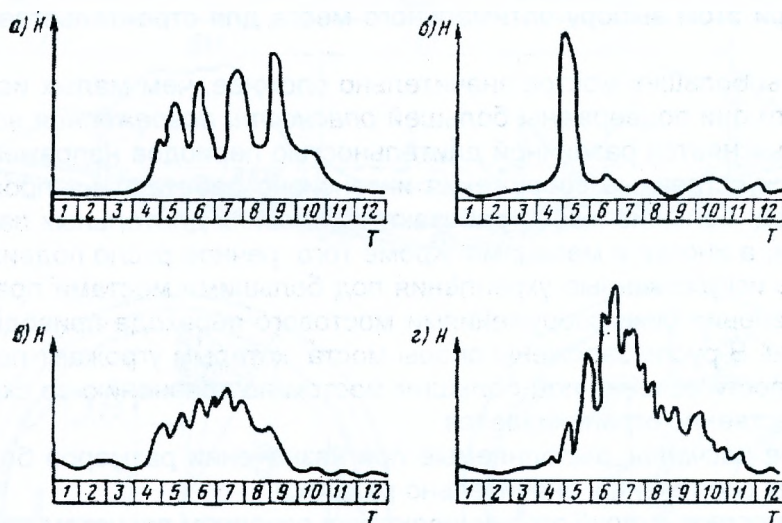


Рис. 12.6. Водомерные графики рек разных типов питания: а – дождевого питания; б – снегового питания; в – ледникового питания; г – смешанного питания

При анализе водомерных графиков различных рек необходимо учитывать, что изменения уровня воды в отдельные моменты времени могут быть вызваны не только изменением притока воды в реку, но и заторами льда, зажорами шуги, а иногда и другими причинами (нагонными ветрами, подпором от другой реки, сливающейся с изучаемой рекой, и т. д.). Учет таких обстоятельств весьма важен для правильного перехода от одномерного графика к *гидрографу*, т.е. к графику изменения расходов во времени.

В зависимости от хода питания гидрографы и водомерные графики могут быть *одно-модальными* (при одном половодье) или *многомодальными* (при нескольких половодьях в течение года). В отдельные годы дождевые паводки, обычно значительной высоты, оказываются ниже, чем половодья от стока талых вод.

Современный процесс формирования речного русла, т.е. выработка его форм и размеров, называется *русловым процессом*. Главной составной частью этого процесса является непрерывное взаимодействие водного потока с подвижным дном русла. Это взаимодействие приводит к образованию характерных форм рельефа дна, отвечающих структуре турбулентного потока, и одновременно к формированию паводочного скоростного поля потока, соответствующего вырабатываемым формам дна, т.е. объединению наносов в крупные скопления.

Установить число возможных типов речных русел можно теоретически. Характеристики условий руслоформирования могут быть сведены в малое число физически различных групп, каждой из которых соответствует одна определенная русловая форма.

Шесть характеристик любого участка реки связаны между собой всего тремя уравнениями: средней скорости течения (Шези); постоянства расхода воды; расхода руслоформирующих наносов: расход воды Q и руслоформирующих наносов G , фактическая скорость протекания водного потока в речном русле V и три геометрические характеристики русла: B – средняя ширина; H – средняя глубина; I – уклон. Таким образом, возможно выделение числа возможных типов русел (табл. 12.1).

Таблица 12.1. Возможные типы русел

Внешние условия формирования русла	Местные характеристики русла	Тип русла	Зона преимущественного распространения в долине главной реки
Q, V, I	H, B, G	Каньоны	Зона эрозии
Q, V, G	$H, B, I < I_{дол}$	Меандрирующие (извилистые)	Зона транзита
Q, V, I	$H, B, I = I_{дол}$	Немеандрирующие (неизвилистые)	Зона транзита
Q, G, I	H, B, V	Блуждающие	Зона аккумуляции
Q, B, I	H, G, V	Теснина I рода	Любая
Q, B, G	H, I, V	Теснина II рода	Любая

Примечание. Берега теснин неразмываемы

Характерные формы русел показаны на рис. 12.7.

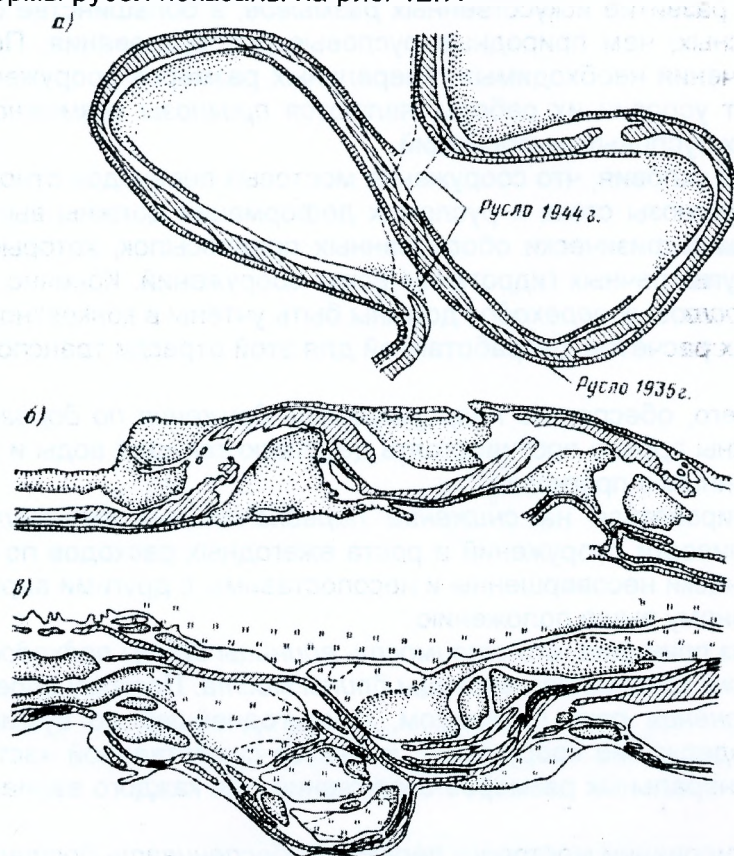


Рис. 12.7. Планы участков рек разных типов: а – меандрирующая (извилистая), б – немеандрирующая, в – блуждающая

12.3. Основные положения проектирования мостовых переходов

Мостовой переход является составной частью дороги, поэтому при его проектировании необходимо, прежде всего, учитывать основное требование – наилучшее обслуживание перевозок по дороге. Выбор места перехода реки должен быть подчинен этому требованию. Однако мостовой переход представляет собой комплекс сложных и дорогостоящих сооружений, затраты на строительство которых существенно зависят от места расположения пе-

перехода на реке. И связи с этим нередко оказывается необходимым, проводя дорогу через наиболее целесообразное место пересечения реки, отклонять трассу от наикратчайшего ее направления. Потери на перевозках, неизбежные в этих случаях, компенсируются экономией в строительстве и содержании мостового перехода.

Наилучшее место перехода практически всегда выбирают на основе вариантного проектирования. Чтобы сравнить варианты перехода и обоснованно выбрать наилучший из них, необходимо:

1) правильно назначить общие формы и генеральные размеры сооружений перехода и оценить объемы строительных работ по всем вариантам. *Необходимые генеральные размеры* сооружений определяются условиями работы мостового перехода, различными для разных вариантов;

2) учитывать весь комплекс характеристик того или иного участка реки, влияющих на стоимость строительства и эксплуатации сооружений. К таким характеристикам относятся: *геологические условия*, определяющие тип и глубину заложения мостовых опор; *топографические условия*, определяющие объемы работ по устройству подходов к мосту; *гидрологические условия*, в частности ширина разлива и русла, изменчивость берегов русла, амплитуда изменения уровня и скорость течения воды, определяющие длину моста и объемы работ по регулированию реки и защите пойменных насыпей; *ледовый режим*, т. е. интенсивность ледохода, возможность образования ледяных заторов и зажоров шуги, навала на сооружения больших массивов льда, грозящих им повреждениями, особенно при прорыве заторов, и т. д.;

3) учитывать развитие искусственных *размылов*, в большинстве случаев даже значительно более опасных, чем природные русловые преобразования. Поэтому основой для правильного назначения необходимых генеральных размеров сооружений мостового перехода, зависящих от условий их работы, являются *прогнозы возможного притока* воды к мосту и неизбежных русловых деформаций.

4) исходить из условия, что сооружения мостовых переходов относятся к *гидротехническим*. Поэтому прогнозы стока и русловых деформаций должны выполняться исходя из тех же теоретических, физически обоснованных предпосылок, которые используются для проектирования других речных гидротехнических сооружений. Конечно, все *специфические условия работы мостовых переходов* должны быть учтены в конкретной методике гидрологических и русловых расчетов, разработанной для этой отрасли транспортного проектирования;

5) прежде всего, обеспечить *непрерывность движения по дороге*, поэтому сооружения перехода должны прочно противостоять действию текущей воды и русловым деформациям, предвычисленным в прогнозах;

6) не ориентироваться на *снижение первоначальных капиталовложений* за счет уменьшения устойчивости сооружений и роста ежегодных расходов по их содержанию. Такие решения технически несовершенны и несопоставимы с другими вариантами, удовлетворяющими приведенному выше положению;

7) исходить из принципа, что *стоимость единицы длины подходов к мосту чаще всего значительно ниже стоимости единицы длины моста*. Поэтому определение *оптимальной степени стеснения* реки переходом, наивыгоднейшей по суммарным затратам на строительство и содержание сооружений, является существенной частью решения задачи по определению генеральных размеров сооружений для каждого варианта места пересечения реки;

8) при проектировании мостового перехода *обеспечивать достаточную его пропускную способность*, определяемую шириной проезда по мосту или числом путей, и соответствующую грузоподъемность всех сооружений. Для *беспрепятственного пропуска* автомобилей или поездов требуется соответствующее очертание продольного профиля и плана дороги при пересечении реки, в частности, в пределах подтопляемых подходов к мосту;

9) предъявлять к мостовому переходу требования *беспрепятственного пропуска* судов и плотов при заданных уровнях воды в реке. С целью учета этих требований устанавливаются *минимальные подмостовые габариты*, т.е. длина, высота, число и размещение пролетов моста, предназначенных для пропуска судов и плотов, а также предельное приближение моста к речным портам и устойчивым перекатам, на которых судоходство затруднено;

10) чтобы мостовые переходы не вносили таких *ухудшений в режим реки*, которые могли бы неблагоприятно сказаться на работе отраслей народного хозяйства, связанных с использованием реки.

Основные транспортные сооружения мостовых переходов часто приходится защищать от чрезмерно развившихся размывов, сильных течений и т. д. Работы, проводимые с этой целью, объединяются общим названием – *регулирование реки*. При помощи регуляционных работ можно переместить размывы, т. е. локализовать их в местах, безопасных для основных транспортных сооружений мостового перехода, замедлить размывы, уменьшить их размер или отвести опасные течения от сооружений, которым угрожал размыв.

Регуляционные сооружения проектируют на основе изучения процесса русловых изменений, происходящих в результате строительства перехода.

Для решения перечисленных выше задач, возникающих при проектировании мостовых переходов, необходимо располагать обширными данными о *режиме и местных условиях пересечения реки*. Поэтому периоду проектирования должен предшествовать *период изысканий*, т.е. сбора материалов о водном стоке, топографических, грунтовых и геологических условиях по всем вариантам перехода, о ходе природных изменений речного русла и др. Полнота и тщательность изыскательских работ определяют качество проекта.

13. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

13.1. Конструктивные слои дорожной одежды

Для обеспечения круглогодичного движения автомобилей на проезжей части дороги устраивают *дорожную одежду*, которая представляет собой уложенную на поверхность земляного полотна твердую монолитную конструкцию из материалов, хорошо сопротивляющихся воздействию климатических факторов и колес транспортных средств.

Напряжения, возникающие в дорожной одежде при проезде автомобилей, затухают с глубиной (рис. 13.1). Это позволяет проектировать дорожную одежду многослойной, используя в отдельных ее слоях материалы различной прочности в соответствии с действующими усилиями и интенсивностью влияния природных факторов.

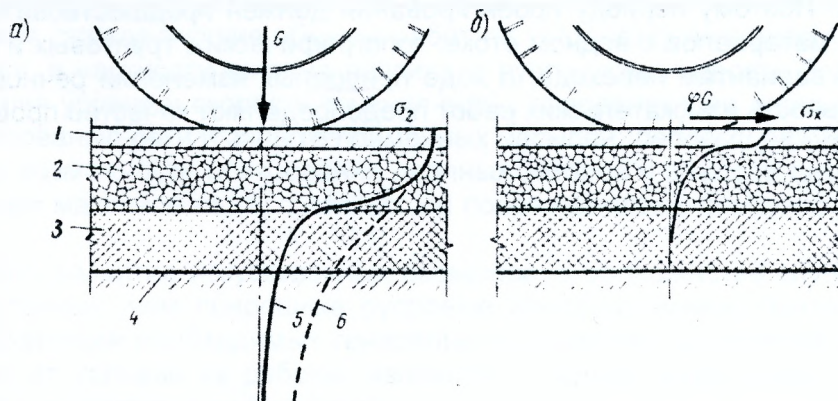


Рис. 13.1. Напряжения от колес автомобилей в многослойной дорожной одежде: а – эпюра вертикальных напряжений σ_z ; б – эпюра горизонтальных напряжений σ_x ; 1 – покрытие; 2 – основание; 3 – дополнительный слой основания; 4 – подстилающий грунт; 5 – напряжения в дорожной одежде; 6 – напряжения в однородном грунте

В дорожной одежде различают следующие слои (рис. 13.2).

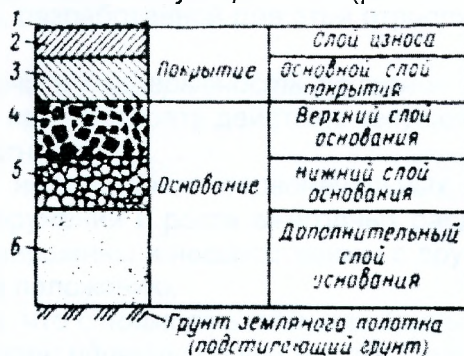


Рис. 13.2. Конструктивные слои дорожных одежд: 1 – поверхностная обработка; 2 – мелкозернистый асфальтобетон; 3 – крупнозернистый асфальтобетон; 4 – щебень, обработанный вяжущими материалами; 5 – щебень; 6 – песок

1. Покрытие – верхний, наиболее прочный, обычно водонепроницаемый, относительно тонкий слой одежды, хорошо сопротивляющийся истирающим, ударным и сдвигающим нагрузкам от колес, а также воздействию природных факторов. Поскольку покрытие устраивают из наиболее дорогостоящих материалов, ему придают минимальную допустимую толщину. Покрытие обеспечивает необходимые эксплуатационные качества дороги (ровность поверхности, высокий коэффициент сцепления с шиной). В конструкции покрытия, помимо основного слоя, обеспечивающего необходимые качества, *предусматривается запасной слой* (слой износа), не входящий в расчетную толщину и подлежащий периодическому восстановлению в процессе эксплуатации дороги. Поверх покрытий, не обладающих достаточной водонепроницаемостью и сопротивлением истиранию, *устраивают тонкие защитные слои* (слои поверхностной обработки) путем розлива органических вяжущих материалов с

засыпкой мелким одномерным щебнем. Поверхностную обработку применяют также для повышения шероховатости гладких покрытий в процессе эксплуатации.

2. Основание – несущая прочная часть одежды, устраиваемая из каменных материалов или грунта, обработанного вяжущими материалами. Оно предназначено для передачи и распределения давления на расположенные ниже дополнительные слои одежды или на грунт земляного полотна (подстилающий грунт) и потому должно быть монолитным, устойчивым против сдвига и изгиба. Основание не подвергается непосредственному воздействию колес автомобилей, а влияние погодных факторов передается на него в несколько смягченном виде. Поэтому для его устройства можно использовать материалы меньшей прочности, чем в покрытии и в слое износа. Широкое использование для его устройства должны находить местные материалы – прочные отходы промышленности, слабые каменные материалы, обработанные вяжущими.

Основание может состоять из одного или нескольких слоев. В последнем случае верхние слои основания устраивают из более прочных материалов. Изолированное при устройстве усовершенствованных покрытий от воздействия поверхностной влаги основание может увлажняться в результате перемещения влаги снизу вверх из земляного полотна в период зимнего промерзания. Поэтому к материалам для устройства основания предъявляются требования в отношении *морозостойчивости*.

3. Дополнительные слои основания из материалов, устойчивых при увлажнении, укладывают между основанием покрытия и подстилающим грунтом земляного полотна на участках с неблагоприятными климатическими и грунтово-гидрологическими условиями. В местах, где земляное полотно сложено из пылеватых, суглинистых и глинистых грунтов, в которых могут развиваться процессы зимнего влагонакопления и пучения, *вводят дополнительный слой из пористых материалов* (песка, гравия или щебня), который называют дренажным, противопучинным или морозозащитным. Такой слой предназначен для отвода избыточной воды из верхних слоев земляного полотна, осушения дорожной одежды, предотвращения значительного вспучивания покрытия и повышения прочности грунта земляного полотна.

4. Грунт земляного полотна (подстилающий грунт, «рабочий слой» земляного полотна) – тщательно уплотненные и спланированные верхние слои земляного полотна, на которые укладывают слои дорожной одежды. На подстилающий грунт передается все давление от транспортных нагрузок, поэтому он является весьма ответственным элементом конструкции дорожной одежды. *Прочность дорожной одежды* может быть обеспечена лишь на однородном, хорошо уплотненном, не подверженном пучению земляном полотне при обеспеченном водоотводе. Повышение сопротивления грунта земляного полотна внешним нагрузкам, его осушение и постоянство водного режима являются наиболее надежными способами увеличения прочности дорожной одежды и снижения ее стоимости. *Никакое увеличение толщины слоев каменных материалов* не может обеспечить прочность и ровность дорожной одежды, укладываемой на слабом недоуплотненном или переувлажненном грунтовом основании.

13.2. Виды покрытий

Эксплуатационные качества дорожных одежд – допускаемая скорость и удобство движения – определяются в основном покрытиями, которые могут быть разделены на следующие основные конструктивные типы.

1. Асфальтобетонные покрытия – наиболее совершенный тип дорожных покрытий. Их устраивают в один или два слоя на прочном основании. Распространенные еще несколько лет назад многослойные асфальтобетонные покрытия больше не строят.

Асфальтобетон представляет собой искусственный строительный материал, который получается при уплотнении в горячем состоянии смеси, состоящей из подобранного по крупности мелкопористого каменного остова – щебня или гравия и песка, связанных между собой смесью тонкого минерального порошка с битумом, вводимым в зависимости от состава асфальтобетонной смеси в количестве от 3,5 до 9%.

Различают асфальтобетоны крупнозернистые (фракции щебня до 40 мм), мелкозернистые (до 20 мм) и песчаные (из частиц не крупнее 5 мм). Особенностью асфальтобетонов является зависимость их свойств от температуры.

Асфальтобетон образует ровную, удобную для движения поверхность, смягчающую удары колес. Если для его приготовления применяют щебень твердых неполирующихся горных пород, он при износе сохраняет высокое значение коэффициента сцепления. Соответствующим подбором состава каменного остова можно получить материал, образующий дорожное покрытие повышенной шероховатости.

2. Цементобетонные покрытия обладают большой монолитностью и высоким сопротивлением нагрузкам. Их строят *в виде отдельных плит* размерами в плане 3-4 на 6-7 м при толщине от 18 до 24 см *с заливкой бетоном на месте*. Плиты отделяются друг от друга швами, необходимыми для компенсации изменений их длины при колебаниях температуры.

Свойства цементобетонных покрытий не меняются при колебаниях температуры в отличие от асфальтобетонных, прочность и жесткость которых снижаются в жаркую погоду. При правильном подборе состава бетонной смеси и соблюдении технологических правил строительства износ цементобетонных покрытий незначителен, и они более долговечны, чем другие виды дорожных покрытий.

Недостатком бетонных покрытий является наличие швов, через которые трудно предотвратить проникновение влаги в основание. После нескольких лет эксплуатации в результате обламывания кромок швов при переезде через швы начинают ощущаться *толчки колес*. Опыт эксплуатации бетонных покрытий при интенсивном движении тяжелых автомобилей показал, что, несмотря на высокую прочность самих бетонных плит, под них необходимы прочные основания. При непосредственной укладке бетона на грунт или на тонкую песчаную прослойку в грунте под плитами, упруго прогибающимися при проездах автомобилей, образуются полости. Плиты теряют контакт с грунтом, а затем в них появляются трещины. *Поэтому на дорогах с высокой интенсивностью движения бетонные покрытия укладывают, на прочные основания из щебня или грунта, укрепленного цементом или битумом.* Поверх оснований, укрепленных цементом, устраивают для снижения трения *выравнивающий слой* – тонкую прослойку из песка (3-5 см), обработанного органическими вяжущими.

Отмеченные недостатки, а также необходимость применения для цементобетона более качественных каменных материалов, чем для асфальтобетона, привели во всем мире в течение последних 15-20 лет к относительному уменьшению протяженности дорог с цементобетонными покрытиями по сравнению с дорогами, имеющими асфальтобетонные покрытия.

Неоднократно делались попытки строительства сборных бетонных покрытий. Бетонные плиты можно готовить на заводах заблаговременно при строгом соблюдении технологических правил и режимов ухода за бетоном. Строительные работы сводятся к монтажу покрытия на подготовленном основании и их можно выполнять в течение всего года, открывая движение немедленно после укладки. В конструкции бетонных плит для временных дорог можно предусматривать возможность их перекладки и повторного использования.

Современные конструкции сборных бетонных покрытий имеют крупные *недостатки*:

- низкие темпы укладки плит сборных покрытий;
- стыки сборных плит не обеспечивают передачи усилий и моментов с плиты на плиту;
- через швы происходит выжимание разжиженного песка и подстилающего грунта, которое можно предотвратить только прокладкой под плитами полос геотекстиля;
- трудно обеспечить ровность сборного покрытия, необходимую для движения с высокими скоростями, изоляцию стыков для предотвращения проникновения воды и избежать просадок плит в процессе эксплуатации;
- не решен вопрос о конструкции плит и их укладке на криволинейных участках дорог.
- большой расход арматуры в связи с необходимостью обеспечения прочности плит при монтаже и перевозке.

Основной областью использования сборных бетонных покрытий пока еще являются временные подъездные пути на строительных площадках и дороги на лесозаготовках, а также дороги промышленного значения в местностях, где отсутствуют каменные материалы. Бетонные плиты сборных покрытий вначале укладывают непосредственно на песчаный грунт земляного полотна, а через год после прекращения осадки насыпей перекладывают, устраивая под ними основание, укрепленное цементом, и омоноличивают, сваривая выпущенные петли арматуры.

3. Покрытия из щебня и гравия, обработанные органическими вяжущими материалами, хорошо сопротивляются разрушающему действию движения автомобилей благодаря прочному соединению каменных частиц, вводимым вяжущим. Такие одежды водостойки. Разные способы введения вяжущего в процессе строительства определяют различия в структуре получающихся покрытий.

Смешение на дороге осуществляют путем перемешивания автогрейдерами рассыпанного по дороге слоя щебня или гравия после поливки из гудронаторов жидким битумом, дегтем или эмульсией из расчета от 3 до 7% массы каменного материала в зависимости от содержания мелких частиц.

Пропитка – введение эмульсий или разогретых вязких битумов и дегтей в покрытие путем разлива по поверхности не полностью укатанного слоя щебня одинаковой крупности. Расход вяжущего примерно 1 л битума на 1 м² площади на 1 см глубины покрытия. После проникания битума в глубь россыпи поверхность покрытия засыпают мелким щебнем и уплотняют тяжелыми дорожными катками, вдавливающими его в поры между крупными щебенками. Устойчивость покрытий по типу пропитки обеспечивается главным образом заклинкой щебня, создаваемой в процессе укатки.

Недостатком этого типа покрытий является относительно большой расход вяжущих материалов. Вяжущее, просачивающееся по пустотам россыпи каменных материалов, не проникает в точки контакта между щебенками, где его действие было бы особенно эффективно, а образуют сгустки в этих пустотах.

Поверхностная обработка – тонкий защитный слой, создаваемый на поверхности дорожной одежды путем разлива 2,0-2,5 л/м² битума с последующей засыпкой очень мелким щебнем и прикаткой. В зависимости от количества разливов битума и засыпок щебнем различают *одиночную и двойную поверхностные обработки*.

Поверхностная обработка повышает сопротивление покрытия износу и делает его водонепроницаемым, в результате чего во влажные периоды года покрытие остается сухим и имеет повышенный модуль деформации. Обычно в запас прочности слой поверхностной обработки в расчетах толщины дорожных одежд не учитывают, так как при использовании щебня твердых пород увеличивается коэффициент сцепления и значительно повышается безопасность движения. Поверхностные обработки покрытий часто выполняют как мероприятие для повышения безопасности движения.

4. Щебеночные покрытия обладают малым сопротивлением износу при проезде автомобилей, так как касательные усилия, возникающие в зоне контакта пневматических шин с покрытием, нарушают эффект укатки. Поэтому как самостоятельный тип щебеночные покрытия применяют лишь при малой интенсивности движения.

Щебеночные покрытия и основания устраивают в несколько слоев из щебенки примерно одинаковых размеров. Прочность щебеночных покрытий обеспечивается заклинкой, создаваемой при укатке. *При устройстве покрытия* в поры поверхности основного слоя щебня крупностью 50-75 мм, прикатанного самоходными дорожными катками с поливкой водой для уменьшения трения между щебенками, заклинивают укаткой более мелкий щебень (*клинец*) размером 15-25 мм.

На последнем этапе строительства более мелкие поры, оставшиеся после укатки клинца, заклинивают каменной мелочью размером 5-15 мм. Щебеночные основания под усовершенствованные покрытия не расклинивают.

Решающим фактором в устойчивости щебеночных покрытий и оснований служит внутреннее трение между щебенками, а также связывающее действие каменной пыли, которая появляется при истирании щебенки во время укатки.

5. В покрытиях из естественного гравия или из искусственно подобранных по крупности гравийных смесей прочность обеспечивается подбором скелета по принципу оптимальной смеси, в которой поры между крупными частицами заполнены более мелкими частицами, и смесь обладает минимальной пористостью. Связность обеспечивается мелкими частицами пыли и глины, входящими в состав гравийного материала. В сырое время года прочность покрытий снижается.

Основания из гравия просты в строительстве и достаточно прочны и устойчивы, если в их составе не содержатся избытки мелкозернистых примесей, придающих смеси пластичность в периоды увлажнения.

По типу гравийных строят покрытия из местных малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности (слабых известняков, доменных и топочных шлаков, болотной железной руды, отсортированных горелых сланцевых пород из отвалов каменноугольных шахт и др.).

6. Мостовые – покрытия и основания, устроенные из отдельных, установленных вплотную друг к другу естественных или искусственных камней.

Усовершенствованные мостовые, устраиваемые из брусчатки или клинкера, отличаются ровной поверхностью. Мостовые из грубого колотого или валунного камня (булыжные мостовые) иногда используют на дорогах II и III категорий как *покрытия временного типа* или как *основания под более совершенные типы покрытий*, а на дорогах более низких категорий – как самостоятельный тип покрытий. Близки к булыжным мостовым основания из **пакеляжа** – камней, укладываемых большим основанием (постелью) вниз. Заполнение и расклинивание щебнем промежутков между камнями создает относительно монолитное основание.

Крупнейшим недостатком булыжных мостовых и пакеляжных оснований является необходимость их укладки (мощения) вручную, дорогостоящей и не соответствующей современным требованиям механизированного скоростного строительства. Поэтому строительство мостовых на дорогах практически прекращено.

7. Дорожные покрытия и основания из укрепленных грунтов имеют большие перспективы развития из-за отсутствия во многих районах страны естественных каменных материалов. Грунты, обработанные цементом, приобретают прочность и устойчивость против воздействия влажности, что позволяет использовать их как материал для конструктивных слоев дорожных одежд. Основания из цементогрунта давно уже находят широкое применение. Построенные в опытном порядке покрытия из цементогрунта с поверхностной обработкой достаточно успешно работают на дорогах с малой интенсивностью движения.

8. Одежды из местных грунтов, улучшенных добавками песка, гравия и других зернистых материалов, применяют на дорогах низших категорий. Введение в глинистые грунты скелетных добавок увеличивает сопротивление внешним нагрузкам при увлажнении. Придание связности пескам достигается введением суглинки или глины. Естественные грунтовые дороги по существу не имеют дорожной одежды. Материалом проезжей части служат поверхностные слои земляного полотна, уплотненные проездом. При связных грунтах эти дороги могут обеспечить лишь движение небольшой интенсивности в сухое время года. Интенсивное движение по грунтовым дорогам в летнее время затрудняется образованием пыли. В дождливые периоды грунтовые дороги становятся скользкими. Сцепление шин с поверхностью дороги резко снижается, и колеса автомобилей буксуют. При большом увлажнении дороги образуются глубокие колеи.

13.3. Классификация дорожных одежд

Решающим фактором при отнесении дорожных покрытий к тому или иному классу является быстрота накопления в них деформаций и обеспечиваемая скорость движения автомобилей.

В зависимости от обеспечиваемой степени удобства движения дорожные одежды делятся на *усовершенствованные (капитальные и облегченные), переходные и низшие*.

Классификация дорожных одежд и покрытий, область их применения и предельные интенсивности движения грузовых автомобилей на две полосы движения в сутки приведены в табл. 13.1.

Наиболее распространенные конструкции дорожных одежд разных типов показаны на рис. 13.3.

Усовершенствованные покрытия капитальных и облегченных типов укладывают на прочное основание. Покрытия переходных и низших типов укладывают непосредственно на грунт, за исключением щебеночных покрытий, под которые следует устраивать основание из грунтов, укрепленных вяжущими материалами, из шлаков и других местных материалов.

При неблагоприятных условиях увлажнения местности на земляном полотне из связных, подверженных пучению грунтов, всегда устраивают дренирующие песчаные основания.

Таблица 13.1. Типы дорожных одежд

Тип одежды	Основные виды покрытий	Предельная интенсивность движения, авт/сут	Категории дорог
Усовершенствованные			
капитальные	Цементобетонные монолитные	> 3000	I-III, I-c I, II, I-c III, I-c Городские дороги
	Из асфальтобетонных смесей марки I (горячих и теплых) Из асфальтобетонных смесей марки II (горячих) Мостовые из брусчатки и мозаики		
облегченные	Из асфальтобетонных смесей марки II (теплых), дегтебетонных смесей марки I (горячих)	≤ 4000	III, III-c
	Из асфальтобетонных смесей марки I (холодных), дегтебетонных марок I и II (горячих) и марки I (холодных мелкозернистых)	< 3000	III
	Из асфальтобетонных смесей марки III (горячих и теплых), марки II (холодных), из дегтебетонных марки II (холодных) и мелкозернистой песчаной смеси Из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими в установке или методом пропитки, из черного щебня, уложенного методом заклинки, из пористых асфальтобетонных смесей или прочного щебня с двойной поверхностной обработкой	< 1500 2000-3000	IV III, IV, II-c
Переходные	Щебеночные по методу заклинки	300-500	IV, V, II-c, III-c
	Грунты и малопрочные каменные материалы, обработанные вяжущими Мостовые из булыжного и колотого камня	500 500	III-c IV, V, II-c, III-c
Низшие	Щебеночно-гравийные смеси и малопрочные каменные материалы и шлаки	100	V, III-c
	Грунты, укрепленные местными вяжущими материалами	100	V, III-c

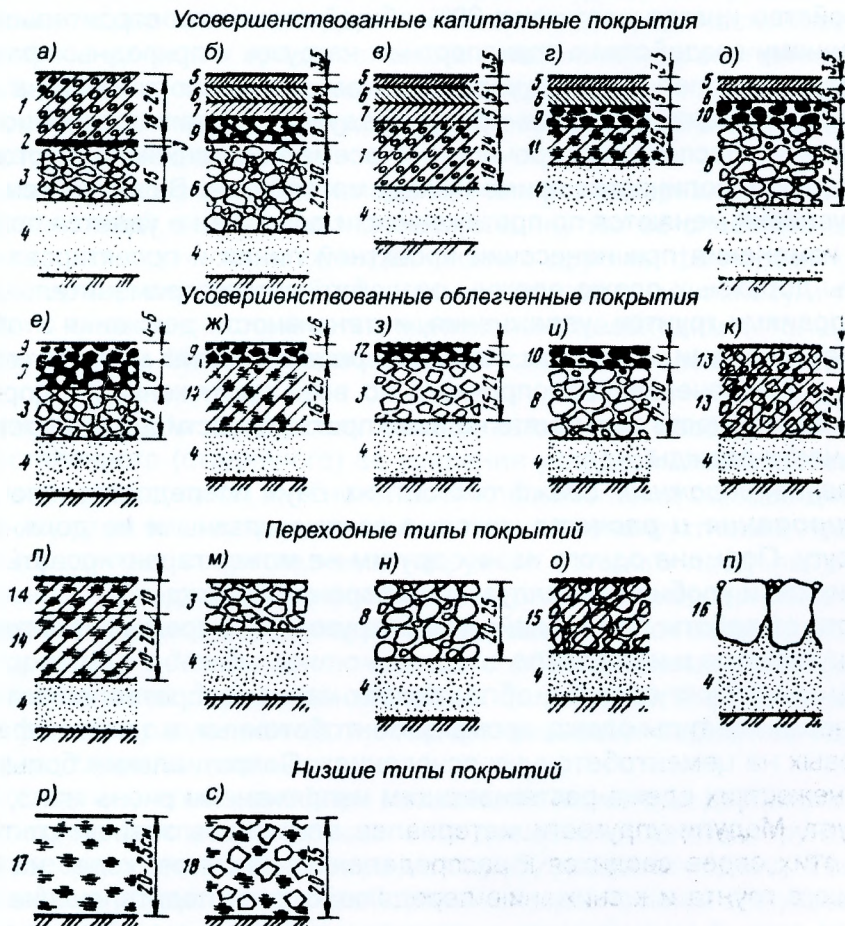


Рис. 13.3. Примеры конструкций дорожных одежд: а – цементобетонное покрытие на каменном основании; б – асфальтобетонное покрытие на гравийном основании; в – двухслойное асфальтобетонное покрытие на бетонном основании (применяется на городских улицах); г – асфальтобе-

тонное покрытие на основании из щебня, обработанного в установке органическими вяжущими, и грунта, укрепленного битумом или цементом; д – асфальтобетонное покрытие на гравийном основании; е – покрытие из щебня, обработанного органическими вяжущими, на щебеночном основании; ж – покрытие из щебня, обработанного органическим вяжущим, на основании из цементогрунта; з – покрытие из щебня, обработанного органическим вяжущим, на щебеночном основании; и – покрытие из гравийной смеси, обработанной органическим вяжущим, на гравийном основании; к – покрытие из щебня, укрепленного 6% цемента, на основании из щебня, укрепленного 4% цемента; л – покрытие из грунта, обработанного неорганическими вяжущими материалами; м – щебеночное покрытие; н – гравийное покрытие; о – покрытие из гравия, обработанного малыми дозами вяжущих материалов; п – булыжная мостовая; р – покрытие из оптимальной грунтовой смеси; с – покрытие из грунта, укрепленного добавками щебня, гравия или шлаке; 1 – цементобетон; 2 – прослойка из песка, обработанного органическими вяжущими материалами; 3 – щебеночный слой; 4 – дополнительный (морозозащитный, дренирующий) слой основания из песка, гравия, шлака; 5 – мелкозернистый или песчаный асфальтобетон; 6 – крупнозернистый пористый асфальтобетон; 7 – щебень, обработанный органическими вяжущими методом пропитки; 8 – гравийная смесь; 9 – щебень, обработанный органическими вяжущими материалами в установке; 10 – гравийная смесь с добавками щебня, обработанная органическими вяжущими в установке; 11 – цементогрунт; 12 – щебеночное покрытие, обработанное органическими вяжущими методом пропитки с последующей поверхностной обработкой; 13 – щебень, укрепленный добавками цемента (верхний слой 6%, нижний 4%); 14 – грунт, укрепленный добавками органических или неорганических вяжущих; 15 – гравийные покрытия из некондиционных каменных материалов, укрепленных малыми дозами цемента (на покрытии двойная поверхностная обработка); 16 – булыжная мостовая; 17 – грунт, укрепленный песчано-глинистыми добавками; 18 – грунт, укрепленный шлаком, щебнем или гравием

13.4. Принципы конструирования дорожных одежд и выбора материалов для них

Дорожная одежда является самой дорогостоящей частью автомобильной дороги. Затраты на ее устройство иногда достигают 60% общей стоимости строительства. Подвергаясь непосредственному воздействию транспортных нагрузок и природных факторов, дорожные одежды работают в более тяжелых условиях, чем другие сооружения на дороге. Поэтому к назначению конструкции дорожных одежд следует подходить особенно внимательно, сочетая стремление к обеспечению прочности с всемерным снижением стоимости строительства и уменьшением количества применяемых материалов. В связи с тем, что грунтово-гидрологические условия меняются по протяженности дороги и не удается полностью устранить влияние их изменения при нанесении проектной линии и проектировании земляного полотна, варианты дорожных одежд должны разрабатываться применительно к участкам с аналогичными условиями грунтов, увлажнения, интенсивности движения и обеспеченности строительными материалами. При этом *наиболее рациональный метод конструирования дорожных одежд* – обеспечение равнопрочного по всей протяженности дороги земляного полотна, что дает возможность применять на всей протяженности дороги постоянную конструкцию каменной части одежды.

Проектирование дорожных одежд состоит из двух последовательно выполняемых этапов: **конструирования и расчета**, которые взаимосвязаны и не должны противопоставляться друг другу. Подмена одного из них другим не может гарантировать получения устойчивой, экономичной и удобной в эксплуатации дорожной одежды.

В зависимости от работы при воздействии нагрузок все дорожные одежды условно делят на две группы: *жесткие и нежесткие*.

Нежесткими называют одежды, обладающие малым сопротивлением изгибу. К ним относятся практически все типы одежд, кроме цементобетонных, а также асфальтобетонных покрытий и мостовых на цементобетонных основаниях. Сопротивление большинства конструктивных слоев нежестких одежд растягивающим напряжениям очень мало, а у некоторых вообще отсутствует. Модули упругости материалов этих слоев зависят от температуры и влажности. Роль этих слоев сводится к распределению давления колес на большую площадь подстилающего грунта и к снижению передающихся на подстилающие грунты удельных нагрузок.

Жесткие одежды имеют один или несколько слоев, обладающих сравнительно большим сопротивлением изгибу и модулями упругости, практически не меняющимися при изме-

нениях температуры и влажности. Жесткие одежды работают по принципу плит на упругом основании, распределяя давление от внешней нагрузки на площадь грунта, значительно большую, чем нежесткие.

При конструировании дорожной одежды необходимо руководствоваться следующими принципами:

а) тип покрытия, конструкция одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге соответствующей категории, и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения;

б) конструкция одежды должна учитывать местные природные и грунтово-гидрологические условия, обеспечивать эффективное осушение и морозоустойчивость;

в) при выборе материалов для устройства конструктивных слоев следует стремиться к широкому применению местных материалов и отходов промышленного производства с предварительной их переработкой или укреплением;

г) материалоемкость и энергоемкость конструкции дорожной одежды должна быть минимальна, при этом следует обеспечивать технологичность, максимальную механизацию и индустриализацию дорожно-строительного производства;

д) при назначении конструкции дорожной одежды следует учитывать региональный опыт строительства и эксплуатации дорог в конкретном районе Республики Беларусь, однако при этом необходимо стремиться к широкому применению новых конструктивных и технологических решений, материалов, прошедших опытную проверку.

Конструирование дорожной одежды заключается в назначении типа покрытия, в выборе для нее наиболее подходящих материалов, исходя из наличия местных ресурсов и соображений организации работ, в целесообразном назначении размеров отдельных слоев и размещении их по глубине. Так как невозможно сразу наметить оптимальную для данных условий конструкцию, обычно разрабатывают несколько вариантов дорожной одежды, из которых на основе технико-экономического анализа выбирают наилучший.

Конструирование дорожной одежды – наиболее творческая часть проектирования. Оно должно основываться на четких представлениях о напряженном состоянии и механизме деформации конструктивных слоев и дорожных одежд в целом, на учете работы различных типов одежды в разных климатических условиях и особенностей воздействия на них движения по дороге и природных факторов.

Наметив конструкцию одежды, исходя из наличия материалов и учитывая возможности строящих организаций, вначале назначают толщину тех ее слоев, размеры которых определяются не столько прочностью одежды, сколько другими факторами (обеспечение отвода воды, предотвращение пучинообразования, сопротивление износу и т.д.), или же принимают в связи с их высокой стоимостью минимально необходимой толщины с тем, чтобы общая прочность одежды обеспечивалась за счет слоев из более дешевых местных материалов.

В конструкции одежды на дорогах низших категорий необходимо предусматривать возможность постепенного (стадийного) ее усиления укладкой сверху слоев более прочных материалов по мере возрастания интенсивности или изменения состава движения. Верхние слои земляного полотна рассматривают как составной конструктивный элемент одежды, к прочности и однородности сопротивления нагрузкам которого предъявляются достаточно высокие требования. При этом должны предусматриваться мероприятия по обеспечению стабильности водного режима этих слоев и предохранения их от переувлажнения.

Расчет дорожной одежды заключается в обосновании необходимой толщины и устойчивости как всей дорожной одежды в целом, так и отдельных ее слоев. Он сводится к обеспечению равнопрочности всех сравниваемых вариантов одежды и соответствия их заданным условиям движения.

Одним из основных требований при назначении вариантов дорожных одежд является учет в каждом конкретном случае интенсивности движения и местных грунтовых, гидрологических и климатических условий, влияющих на службу дорожных одежд. Так, например, щебеночные и гравийные покрытия, не обработанные органическими вяжущими материалами, лучше работают во влажном, умеренном климате и относительно быстро разрушаются в условиях сухого климата на юге. Во влажном климате, где широко распространены процессы пучинообразования, необходимо вводить в конструкцию дорожной одежды специальные

противопучинные (морозозащитные) слои, которые совершенно излишни в южных районах страны. Определение толщины противопучинного слоя является обязательным элементом расчета дорожных одежд в районах страны с большими глубинами промерзания. Климатические условия влияют на выбор типов дорожной одежды также в связи с ограничением продолжительности строительного сезона для производства работ с использованием органических вяжущих материалов. В засушливых районах применение цементобетонных покрытий осложняется трудностями снабжения строительства водой и организации ухода за бетоном.

Одно из основных требований при выборе конструкции дорожной одежды – *максимальное использование местных материалов*. При отсутствии местных каменных материалов следует устраивать основание из грунтов, укрепленных вяжущими. В последние годы в строительстве находят широкое применение золы уноса ТЭЦ, металлургические шлаки, обладающие цементирующими свойствами, каменные породы из отвалов рудников и каменноугольных шахт и многие другие побочные продукты промышленности. В связи со значительной неоднородностью этих материалов в отвалах необходима тщательная их сортировка перед укладкой в дорожную одежду. Многие местные слабые каменные материалы требуют предварительной обработки малыми дозами цемента или органических вяжущих для повышения морозоустойчивости. Вообще чем слабее и неоднороднее местные материалы, тем большего внимания требуют конструирование и устройство дорожных одежд.

На дорогах более низких категорий следует широко использовать *местные материалы*, отходы и побочные продукты промышленности, к которым следует отнести шлаки, имеющие распространение по всей республике, доломитовые материалы месторождения «Руба» (Витебская область), золы уноса, цементную пыль, фосфогипс, молотые шлаки, обладающие вяжущими свойствами.

При конструировании дорожных одежд необходимо учитывать технологические особенности их строительства, отдавая предпочтение вариантам конструкции, осуществление которых требует наименьших материальных ресурсов и затрат энергии и не связано с необходимостью применения ручного труда. Преимуществом обладают конструкции, наиболее простые при строительстве, допускающие индустриализацию заготовительных работ на базах и полную механизацию строительных работ.

Большое значение имеет возможность пропуска автомобилей в процессе строительства по уплотненным слоям дорожной одежды. Количество конструктивных слоев дорожной одежды не следует увеличивать без явной необходимости, так как это, как правило, бывает связано с осложнением технологического процесса, приводящим к возрастанию стоимости строительства.

При конструировании дорожных одежд, которые предполагается впоследствии по мере возрастания интенсивности движения подвергать усилению, необходимую прочность обеспечивают за счет слоев, которые в дальнейшем будут играть роль основания покрытия. Вначале на этих слоях устраивают тонкослойные покрытия или просто слои износа, возобновляемые по мере надобности.

Дорожная одежда должна быть предохранена от поступления и накопления в ней влаги. Водопроницаемость отдельных конструктивных слоев должна возрастать к низу, а из нижнего пористого слоя, если земляное полотно отсыпано из водонепроницаемых грунтов, необходимо обеспечить отвод воды. Поступление влаги из земляного полотна должно быть предотвращено возвышением низа дорожной одежды над возможными источниками увлажнения или укладкой прослоек из водонепроницаемого синтетического материала – *геотекстиля*. Для уменьшения притока поверхностных вод в основание дорожной одежды предусматривают устройство краевых полос, прикромочных дренажей и укрепление обочин.

Конструирование дорожной одежды при проведении работ *по усилению* следует производить, максимально учитывая опыт службы существующей дорожной одежды за время эксплуатации дороги. При этом необходимо располагать данными о деформациях конструктивных слоев и причинах их возникновения, прочности дорожной одежды, эффективности работы морозозащитных и дренажных слоев.

Принимаемые меры по улучшению состояния верхнего слоя покрытия или усилению дорожной одежды должны обеспечивать максимальную экономию асфальтобетона за счет применения современных технологий регенерации и переработки старого асфальтобетона.

При усилении существующей дорожной одежды следует предусмотреть мероприятия по предотвращению копирования имеющихся поперечных трещин температурного характера на поверхности нового покрытия, которые позволяют снизить материалоемкость конструкции и повысить срок ее службы. В качестве таких мероприятий необходимо применять укладку под трещинами геосетки и стеклоткани с выполнением подгрунтовки битумо-резиновым и полимерным вяжущим.

Для снижения воздействия радиационного загрязнения следует предусматривать устройство капитальных и облегченных типов покрытий на всех категориях дорог в районах, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Прикромочная зона дорожной одежды находится под более агрессивным воздействием транспортной нагрузки и природно-климатических условий по сравнению с центральной зоной проезжей части и более интенсивно подвергается деформациям и разрушениям. Поэтому возникает необходимость в усилении прикромочной зоны дорожной одежды устройством слоев переменной толщины по ширине проезжей части.

На автомобильных дорогах высоких категорий (I-III), где количество полос движения в одном направлении более двух, при проектировании дорожной одежды следует учитывать реальное распределение интенсивности по ним. С этой целью необходимо стремиться к рациональному распределению материалов, используемых для устройства дорожной одежды, по ширине проезжей части, что позволит получить значительную экономию наиболее дорогостоящих и дефицитных материалов с применением органических вяжущих.

Поперечные профили земляного полотна и конструкции дорожной одежды с переменной толщиной слоев по ширине проезжей части приведены на рис. 13.4.

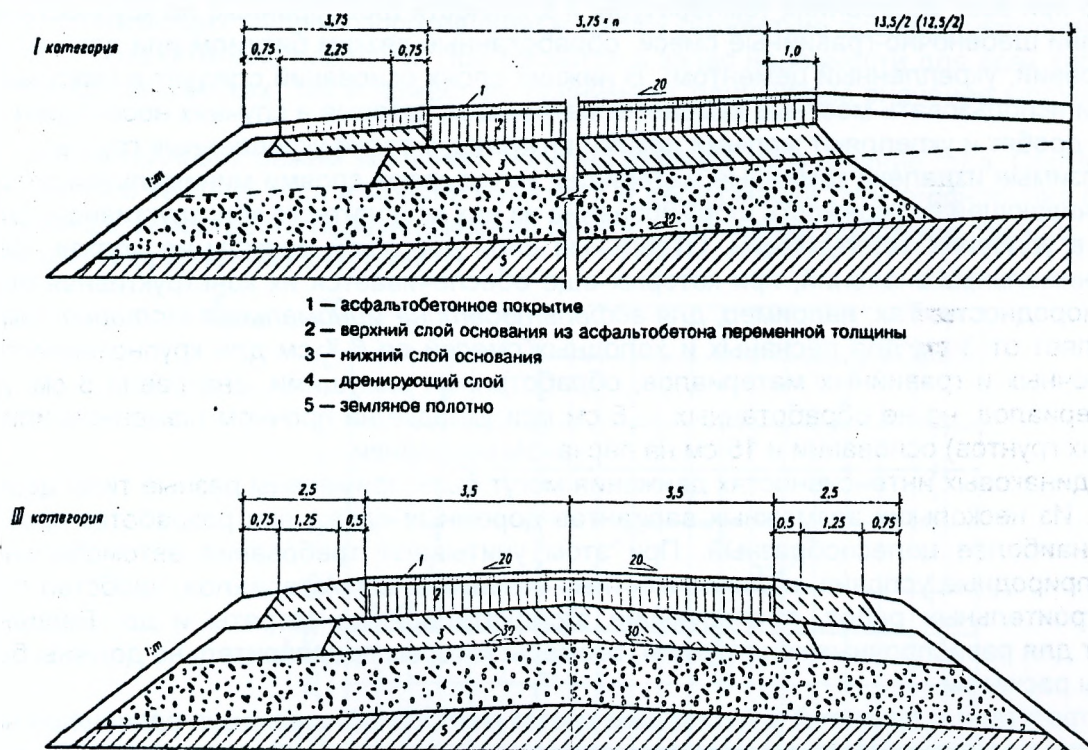


Рис. 13.4. Поперечные профили земляного полотна и конструкции дорожной одежды с переменной толщиной слоев по ширине проезжей части

В процессе конструирования дорожной одежды, исходя из категории дороги, климатических и грунтово-гидрологических условий назначают тип покрытия, выбирают материалы для слоев дорожной одежды. Размещение слоев из различных материалов следует осуществлять таким образом, чтобы наилучшим образом проявилась их распределяющая и деформативная способность, прочностные и теплофизические свойства. При конструировании предварительно устанавливают количество слоев и их ориентировочную толщину; назначают мероприятия, обеспечивающие морозоустойчивость одежды, необходимые теплоизолирующие свойства, трещиностойкость и сдвигоустойчивость; предусматривают регулирование водно-теплового режима.

Для верхнего слоя следует применить материалы, обладающие достаточной прочностью при всех возможных в заданном районе значениях влажности и температуры.

Для нижнего слоя используют местный материал с необходимой его переработкой (сортировка, дробление), который может быть укреплен, особенно на дорогах высоких категорий, малыми дозами вяжущего. Целесообразно широкое применение укрепленных вяжущим грунтов. Выбор материала для дорожной одежды и ее конструкция должны быть обоснованы экономически.

При укладке крупнозернистых материалов, например щебня, на пылеватый, суглинистый и глинистый грунты необходимо предусматривать изолирующие прослойки, предотвращающие взаимопроникновение пористого материала и увлажненного грунта. Толщина таких прослоек из песка или другого материала должна быть не менее 0,05 м.

Материалы в конструкции дорожной одежды располагают по убывающей прочности в соответствии с затуханием по глубине напряжений от временной нагрузки. Следует учитывать жесткость и коэффициент температурного расширения смежных слоев одежды, так как при большом их различии в одежде возникают трещины.

Наиболее целесообразно, чтобы отношение модулей упругости смежных слоев из слабосвязных материалов не превышало 5-6. Ни в одном из слоев не должно возникать пластических смещений при действии расчетных нагрузок. Поскольку сдвигающие напряжения в одежде убывают с глубиной, по мере удаления от поверхности можно укладывать материалы, обладающие все меньшей прочностью и связностью.

Верхние слои основания, в которых возникают значительные напряжения сжатия и сдвига от тяжелых автомобилей, устраивают из материалов, обладающих достаточной прочностью при всех колебаниях температуры и влажности (подобранные по крупности щебеночные или щебеночно-гравийные смеси, обработанные вязким битумом или дегтем; щебень или гравий, укрепленный цементом). В нижних слоях оснований следует в максимальной степени использовать местные каменные материалы, которые в случаях необходимости сортируют, дробят и укрепляют малыми дозами вяжущих, а также укрепленные грунты.

Привозимые издалека каменные материалы укладывают слоями минимальной толщины, обеспечивающей возможность формирования из них монолитного конструктивного слоя, надежного в условиях эксплуатации. Отдельные слои дорожной одежды не должны быть тоньше минимальных значений, при которых еще обеспечивается их конструктивная прочность и однородность. Так, например, для асфальтобетона минимальная толщина покрытия составляет от 3 см для песчаных и холодных смесей до 6-7 см для крупнозернистых. Для щебеночных и гравийных материалов, обработанных вяжущими, она равна 8 см, для тех же материалов, но не обработанных, – 8 см при укладке на прочном (каменном или из укрепленных грунтов) основании и 15 см на песчаном основании.

При одинаковых интенсивностях движения могут быть применены разные типы дорожных одежд. Из нескольких возможных вариантов дорожных одежд при разработке проекта выбирают наиболее целесообразный. При этом учитывают требования автомобильного движения, природные условия, наличие местных строительных материалов, удобство организации строительных работ, последующие эксплуатационные затраты и др. Варианты сравнивают для равнопрочных конструкций, размеры которых предварительно должны быть обоснованы расчетом.

В соответствии с принятой в настоящее время методикой сравнения вариантов наиболее выгодным типом дорожной одежды является тот, который обеспечивает в течение заданного срока окупаемости строительных затрат наименьшую, отнесенную к 1 т-км перевозок, сумму транспортных расходов и расходов на строительство и эксплуатацию дороги – автомобильную и дорожную составляющие себестоимости перевозок.

Автомобильная составляющая себестоимости перевозок складывается из расходов на топливо, смазочные материалы и шины, из заработной платы водителей, из расходов на ремонт и обслуживание автомобилей, а также из стоимости амортизации автомобиля. Значительная часть этих расходов зависит от типа и состояния покрытия.

Дорожная составляющая себестоимости транспортных расходов складывается из отнесенных к 1 т-км расходов организаций на строительство, текущий и капитальный ремонты и содержание дорог. Обычно дорожная составляющая перевозок не превышает 10-15% полной себестоимости перевозок.

13.5. Расчетные характеристики грунтов и материалов конструктивных слоев дорожных одежд

Надежные результаты расчетов толщины дорожных одежд могут быть получены только при использовании достоверных значений параметров, характеризующих материалы конструктивных слоев одежды и подстилающего грунта. При проектировании новых дорог обычно пользуются приводимыми в нормативных документах таблицами расчетных значений модулей упругости грунтов и материалов конструктивных слоев дорожной одежды. При разработке проектов реконструкции дорог, когда возникает вопрос об усилении изношенной существующей дорожной одежды, ее модули упругости определяют экспериментально, измеряя прогиб под колесом тяжелого грузового автомобиля и вычисляя по нему модули так называемым методом обратного перерасчета, используя формулы для расчета дорожных одежд по измеренным прогибам. Этот метод является также основным при накоплении данных для нормирования расчетных параметров грунтов.

В связи с тем, что для грунтов нет прямой пропорциональности между давлением и деформацией, модуль упругости изменяется при различных значениях погружения штампа. Малым деформациям соответствуют несколько большие значения модулей.

Для каждого типа дорожной одежды существует свое критическое значение прогиба. Для жестких одежд оно в 3-4 раза меньше, чем для нежестких. Поэтому условиям работы каждого типа одежд соответствует свое индивидуальное значение модуля упругости подстилающего грунта. Наиболее значительно модуль упругости грунта изменяется при очень малых деформациях, характерных для прогиба монолитных цементобетонных одежд. В интервале больших деформаций, соответствующих разрушающим прогибам для дорожных одежд, обладающих малым сопротивлением изгибу (нежесткие одежды), изменения модуля упругости сравнительно невелики. При расчетах в запас надежности для всех типов дорожных одежд как жестких, так и нежестких принимают одинаковые значения модулей упругости.

Водно-тепловой режим земляного полотна изменяется в течение года. Соответственно изменяются в течение года и модули упругости и деформации грунта основания (рис. 13.5). Чем меньше вероятность переувлажнения грунта в основании дорожной одежды, тем выше принимают их расчетные значения.

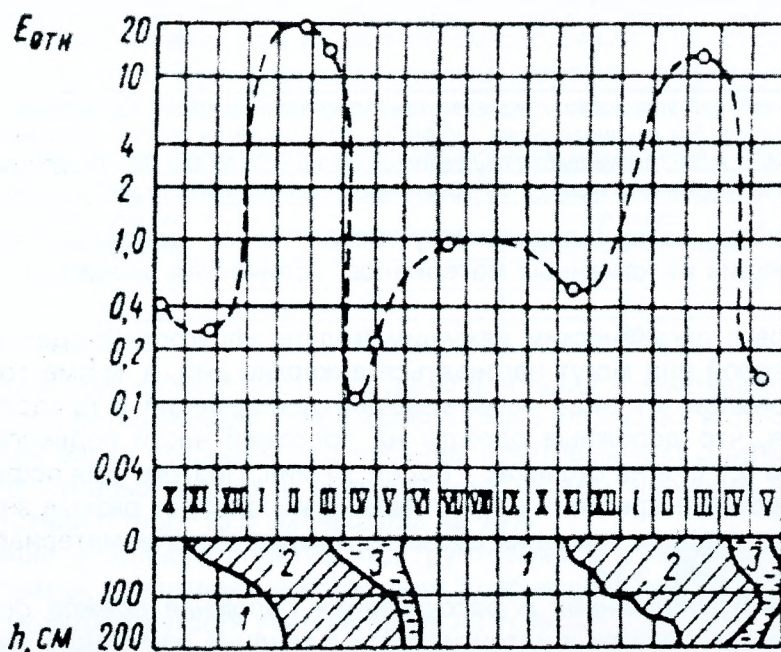


Рис. 13.5. Изменение модуля упругости грунта в течение года: 1 – талый грунт; 2 – мерзлый грунт; 3 – переувлажненный грунт во время весеннего оттаивания; $E_{отн}$ – относительные значения модуля упругости; h – глубина

Особенно сильно значения модуля упругости снижаются во время весеннего переувлажнения. К этому периоду относятся расчетные значения модуля упругости, приводимые в

инструкциях по расчету нежестких одежд. В сухое время года, а также зимой, когда грунт находится в замерзшем состоянии, модуль грунта много выше табличных значений, что следует учитывать при оценке возможности пропуска по дороге тяжелых нагрузок в соответствующие сезоны года.

В результате изучения водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог в разных районах страны были установлены характерные влажности верхних слоев земляного полотна под дорожной одеждой для разных характерных типов местности по условиям увлажнения. В табл. 13.2 приведены влажности характерных для Беларуси грунтов.

Таблица 13.2. Значения влажности грунтов

Тип местности по условиям увлажнения	Среднее значение влажности, в долях от W_T , для грунтов			
	легких суглинков	пылеватых песков	легких и тяжелых суглинков	пылеватых и тяжелых супесей
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

Примечание. W_T – влажность границы текучести.

Введение в конструкцию дорожной одежды гидроизолирующих прослоек, морозозащитных слоев, устройство прикромочных дренажей, укрепление обочин и повышение отметок земляного полотна над источниками увлажнения улучшает водный режим подстилающего грунта. В этих случаях при расчете дорожных одежд приведенные выше средние влажности грунта уменьшают на 0,03-0,05.

В табл. 13.3 приведены расчетные значения параметров наиболее устойчивого грунта (супеси) и наиболее неблагоприятных пучинистых грунтов земляного полотна.

Таблица 13.3. Расчетные значения параметров грунтов

Грунт	Ед. изм.	Расчетные значения характеристик при влажности грунта в долях от W_T									
		0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Супесь легкая	Е, МПа	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	φ , °	37	36	36	36	35	35	34	34	33	33
	С, МПа	0,015	0,014	0,014	0,013	0,12	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
Пылеватая супесь, суглинок легкий пылеватый	Е, МПа	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	φ , °	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	С, МПа	0,045	0,036	0,030	0,024	0,016	0,013	0,010	0,008	0,005	0,004

Примечание. Значения модулей упругости и угла внутреннего трения крупнозернистых грунтов не зависят от влажности и составляют для крупного песка 130 МПа и 40°, для песка средней крупности – 120 МПа и 40°, для мелкого песка – 75 МПа и 33°, для мелкого пылеватого песка – 75 МПа и 33°. Легкая супесь имеет модуль упругости 65 МПа и угол внутреннего трения 40°. Сцепление перечисленных грунтов равно 0,005 МПа

Модули упругости материалов конструктивных слоев дорожных одежд зависят от прочности составляющих их каменных материалов, количества вводимого вяжущего и способа строительства.

Для материалов с органическим вяжущим модуль упругости и сцепление зависят от температуры, до которой они могут нагреваться в жаркие дни, и, кроме того, как для всех анизотропных материалов, от вида испытываемой деформации и продолжительности ее действия. Считается, что дорожные одежды на проезжей части подвергаются нагрузкам продолжительностью 0,1 с, а на стоянках – более 10 мин. Поэтому для асфальтобетона при расчете на общий прогиб покрытия и на растяжение используют разные значения модулей упругости. Некоторые средние значения расчетных характеристик материалов конструктивных слоев приведены в табл. 13.4.

Правильно сконструированная и рассчитанная дорожная одежда должна обеспечивать пропуск расчетных нагрузок и интенсивности в течение расчетного срока между капитальными ремонтами. Однако в процессе строительства земляного полотна и дорожных одежд неизбежны незначительные отклонения от нормативных требований к степени уплотнения грунта и прочности асфальтобетона, а также от средних погодных-климатических условий района строительства. При неблагоприятных сочетаниях этих факторов в отдельные периоды прочность дорожных одежд может оказаться меньшей, чем требуется по условиям движения и нагрузки.

Таблица 13.4. Средние значения расчетных характеристик материалов конструктивных слоев

Материал конструктивного слоя	Модуль упругости E , МПа	Среднее сопротивление растяжению при изгибе R , МПа
Плотный асфальтобетон	а) 200-400 б) 300-4400 в) 1500-6000	– 1,6-3,2 –
Щебень, обработанный в установках битумом, уложенный по способу заклинки	600-900	–
Щебеночный слой, построенный способом пропитки	400-600	–
Щебень, уложенный по способу заклинки	250-450	–
Каменные мостовые, пакеляж	400-500	–
Крупнообломочные грунты и гравийные смеси оптимального состава, укрепленные вязким битумом	250-350	0,35-0,30
То же, укрепленные цементом	250-700	0,18-0,40
Побочные продукты промышленности, укрепленные цементом	180-600	0,09-0,30
Супеси тяжелые и пылеватые, суглинки легкие, укрепленные минеральными вяжущими	120-500	0,07-0,22
Грунт, укрепленный жидким битумом:		
супесь непывеватая	150-200	0,02-0,035
супесь пылеватая, суглинки	80-150	0,02-0,035
Грунт, укрепленный золой уноса	200	0,4

Примечания. 1. Модуль упругости для плотного асфальтобетона указан: а – при расчете на общий прогиб одежды и на сдвиг при разных температурах покрытий, при кратковременных нагрузках; б – при длительной статической действии нагрузки (на стоянке); в – при расчетах на изгиб. 2. Угол внутреннего трения для грунтов, укрепленных жидким битумом, составляет: для непывеватых супесей 25-35°; для пылеватых супесей и суглинков 15-25°.

Поэтому при расчетах для обеспечения запаса надежности в значения расчетной влажности грунтов и модулей упругости асфальтобетона (параметры, наиболее подверженные влиянию погодных факторов), вводятся коэффициенты, обеспечивающие **уровень проектной надежности**, которым называют отношение прочности дорожной одежды в период возможного ее наибольшего ослабления к расчетной прочности.

Расчетные значения модуля упругости грунта можно определить по результатам натурных и лабораторных испытаний при их расчетном состоянии. При отсутствии возможностей выполнения испытаний модуль упругости при кратковременном нагружении может быть установлен в зависимости от района трассирования дороги и вида грунтов по табл. 13.5.

Таблица 13.5. Модули упругости грунтов при кратковременном нагружении, МПа

Дорожно-климатический район	Расчетные значения модуля упругости в зависимости от вида грунта, E_p			
	супеси легкие непывеватые	пески пылеватые	суглинки непывеватые, глины	супеси и суглинки пылеватые
1	46	64	30	28
2	48	66	32	30
3	50	68	35	32

Значения модуля упругости в табл. 13.5 даны для дорог с земляным полотном, проходящим в насыпи и удовлетворяющим требованиям СНиП 2.05.02-85 в отношении плотности грунта и возвышения верха покрытия над уровнем грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод. В нулевых местах и выемках необходимо значения модуля упругости, принятые в соответствии с табл. 13.5 **уменьшить на 10%**.

При возвышении земляного полотна над грунтовыми и поверхностными водами или над поверхностью земли, превышающем значения, требуемые СНиП 2.05.02-85 более чем в 1,5 раза, значения модуля упругости **увеличивают на 10%**.

При расчете конструкций, в которых предусмотрены такие мероприятия, как устройство монолитных оснований дорожных одежд, водонепроницаемых обочин, совершенный дренаж, теплоизоляционные слои, полностью предотвращающие промерзание земляного полотна, и другие, допускается при соответствующем обосновании увеличить расчетные модули упругости, приведенные в табл. 13.5.

Расчетные модули упругости песков и супеси легкой крупной при кратковременном нагружении и отсутствии результатов испытаний принимают равными для:

- песка крупного гравелистого – 130 МПа;
- песка средней крупности – 120 МПа;
- песка мелкого – 100 МПа;
- песка очень мелкого одномерного – 75 МПа;
- супеси легкой крупной – 70 МПа.

Эти данные следует применять при расчете конструкций на прочность при действии подвижной нагрузки. При расчете конструкций на статическое действие нагрузок модули упругости следует уменьшить на 5% для несвязных грунтов и на 10% – для связных.

Прочностные и деформационные характеристики асфальтобетонных материалов для расчета на изгиб приведены в табл. 13.6, а расчетные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетона для расчета на упругий прогиб необходимо выбирать из табл. 13.7.

Таблица 13.6. Прочностные и деформационные характеристики асфальтобетонов, МПа

Материал	Марка битума	Модуль упругости, E	Среднее сопротивление растяжению при изгибе, $\bar{R}_И$
Плотный асфальтобетон I-III марки	БНД 60/90	4500	2,8
	БНД 90/130	3600	2,4
	БНД 130/200	2600	2,0
	БНД 200/300	2000	1,8
	СГ 130/200	1500	1,6
Пористый асфальтобетон	БНД 60/90	2800	1,6
	БНД 90/130	2200	1,4
	БНД 130/200	1800	1,2
	БНД 200/300	1400	1,1
Высокопористый щебеночный асфальтобетон	БНД 60/90	2100	1,0
	БНД 90/130	1700	0,9

Таблица 13.7. Расчетные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетона для расчета на упругий прогиб, МПа

Материал	Марка битума	Расчетные значения модуля упругости, E
Плотный асфальтобетон	БНД 60/90	3200
	БНД 90/130	2400
	БНД 130/200	1500
	БНД 200/300	1200
	СГ 130/200	900
Пористый и высокопористый асфальтобетон	БНД 60/90	2000
	БНД 90/130	1400
	БНД 130/200	1100
	БНД 200/300	950

13.6. Методы экспериментального определения деформационных и прочностных характеристик материалов и грунтов

А. Испытание образцов из материалов, содержащих органическое вяжущее (асфальтобетон, дегтебетон, битумогрунты и другие).

Прочность на растяжение при изгибе и модуль упругости при температуре от 0 до плюс 20°С определяют по результатам испытаний кратковременно действующими нагрузками образцов-балочек размером 4x4x16 см, изготовленных из смесей, содержащих каменные зерна не крупнее 10 мм. Характеристики средnezернистых и крупнозернистых асфальтобетонов и дегтебетонов назначают ориентировочно по результатам испытаний мелкозернистых асфальтобетонов с гранулометрией соответствующего типа (А, Б, В) и пористых мелкозернистых асфальтобетонов с плотностью такой же, как у средnezернистых и крупнозернистых асфальтобетонов.

При подготовке образцов-балочек смеси приготавливают в соответствии с указаниями ГОСТ 12801 и «Пособия по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами» к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88. Образцы-балочки готовят в стальных формах прямоугольного сечения. В про-

цессе уплотнения асфальтобетонных смесей обеспечивают двустороннее приложение нагрузки с передачей давления на уплотненную смесь через два вкладыша, имеющих возможность свободного передвижения в форме навстречу друг другу.

Конструкция пресс-формы (рис. 13.6) должна предотвращать возможность перекоса вкладышей по отношению к форме. Готовые образцы-балочки должны посередине иметь плотность не ниже установленной стандартным методом. Далее эта плотность называется стандартной плотностью. Образцы готовят следующим образом:

- форму и вкладыши нагревают до температуры 90-100°C и протирают тканью, слегка смоченной соляровым маслом или керосином;
- на нижний вкладыш насаживают форму на глубину 1 см, до упора на поддерживающие пружины или резиновые подкладки;
- затем в форму закладывают стальную пластину толщиной 0,5-1,0 мм (поддон для образца). Размеры пластины – длина и ширина – должны соответствовать размеру вкладыша (границы образца);
- в форму помещают навеску смеси и уплотняют.

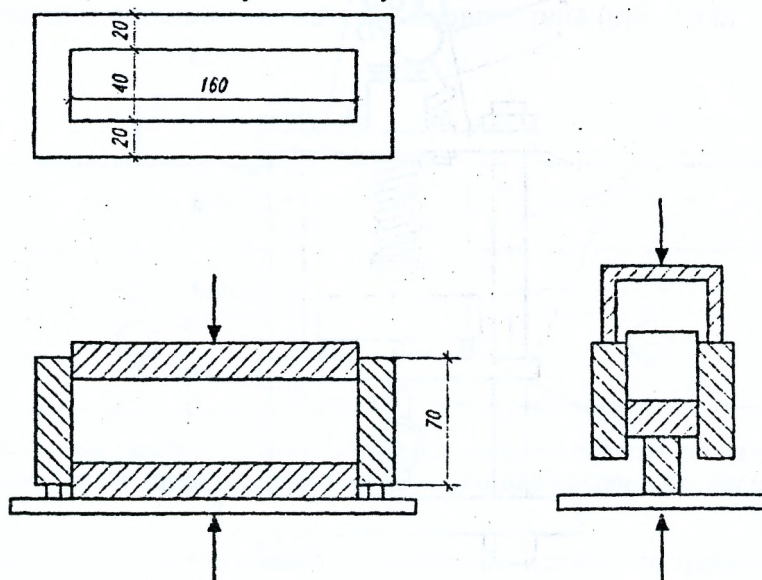


Рис. 13.6. Пресс-форма для изготовления образцов-балочек

Для достижения необходимой плотности при минимальном разрушении минеральных зерен рекомендуется сначала уплотнять смеси на виброплощадке, а затем доуплотнять статической нагрузкой. При отсутствии специального оборудования первичное уплотнение производят следующим образом:

- в подготовленную форму засыпают половину требуемой навески смеси, нагретой до заданной температуры;
- распределяют смесь и предварительно нагретым стальным стержнем штыкуют ее равномерно по всей длине образца. Общее число ударов – 80 (стальной стержень может быть круглым диаметром 20 мм или иметь квадратное сечение со стороной 20 мм, длина стержня – 20 см);
- затем насыпают в форму оставшуюся часть смеси, разравнивают и снова штыкуют таким же образом;
- в форму вставляют верхний вкладыш, затем устанавливают ее на пресс и выдерживают под статической нагрузкой в течение 3 минут. Уплотняющую нагрузку определяют опытным путем. Ориентировочно она находится в пределах 20-40 МПа для асфальтобетонных(дегтебетонных) смесей и 5-20 МПа – для битумогрунтов.

Готовый уплотненный образец выталкивают из формы специальным выжимным приспособлением, переносят его вместе со стальной пластиной-поддоном к месту хранения до испытания, затем стальной поддон отделяют от образца (в случае необходимости с помощью ножа). Изготовленные образцы до испытания выдерживают при комнатной температуре в течение 12-42 часов. Перед испытаниями проверяют плотность, пористость минерального остова и остаточную пористость образцов.

Из одной и той же смеси должно быть приготовлено *шесть образцов*, три из них – для определения прочности на растяжение при изгибе, три – для установления модуля упругости. Желательно сначала испытать на прочность, с тем, чтобы определить разрушающую нагрузку.

Устройство для испытания образцов на изгиб и определения модуля упругости должно обеспечивать возможность многократного приложения нагрузки длительностью действия 0,05-0,20 с, с паузами между нагружениями не менее чем в 10 раз превышающими продолжительность действия нагрузки. Для проведения испытания рекомендуется маятниковый прибор ГосдорНИИ (рис.13.7).

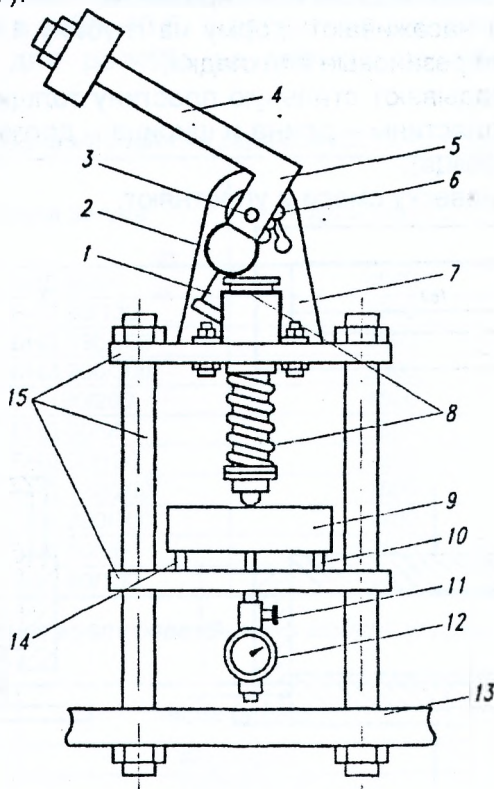


Рис. 13.7. Маятниковый прибор ГосдорНИИ: 1 – фиксатор; 2 – эксцентрик; 3 – ось; 4 – рычаг с грузом; 5 – резьбовой валик; 6 – регулировочная гайка; 7 – кронштейн; 8 – механизм нагружения; 9 – образец-балочка; 10 – подвижная опора; 11 – винт; 12 – индикатор; 13 – станина; 14 – неподвижная опора; 15 – стальные стержни каркаса

Перед испытанием образцы выдерживают в течение 2 часов при заданной температуре, которую поддерживают и в процессе испытаний.

Подготовленный к испытанию образец нагружают, при этом фиксируют упругий прогиб. Для определения кратковременного модуля упругости используют значение упругого прогиба, измеренного после 10-30 циклов предварительных повторных уплотняющих нагружений. Модуль упругости лабораторный, МПа

$$E_{\text{л}} = K_f \cdot K_t \cdot P \cdot (48 \cdot f \cdot I), \quad (13.1)$$

где K_f , K_t – поправки, определяемые ниже по формулам (13.2) и (13.3); P – вертикальная нагрузка, кН; l – расчетный пролет балочки (0,14 м); f – упругий прогиб балочки, см; I – момент инерции сечения образца ($I=bh^3/12$, b и h – ширина и высота балочки).

Если навесная рамка измерительного устройства закреплена на торцах образца длиной L , в расчет по формуле (13.1) вводится поправка

$$K_f = (3L - l) / (2l). \quad (13.2)$$

При испытании с продолжительностью нагружения t_p , отличающейся от расчетной $t_p=0,1$ с, в расчет по формуле (13.1) следует ввести поправку

$$K_t = \sqrt[3]{t_p / t_n}. \quad (13.3)$$

Для определения кратковременного модуля упругости испытывают, как указывалось, не менее трех образцов. За значение модуля упругости принимают среднее арифметическое. Расхождения между данными параллельных испытаний не должны превышать 15%.

Б. Испытание образцов из материалов, содержащих неорганическое вяжущее. К таким материалам относятся цемент, известь, гранулированный шлак, зола уноса и другие. Сопротивление растяжению при изгибе и модуль упругости грунтов и материалов, укрепленных неорганическим вяжущим, определяют на образцах-балочках, которые изготавливают и хранят до испытаний по стандартной методике. Для каждого вида испытаний готовят по три образца. Образцы в зависимости от размера испытывают на прессах рычажных, гидравлических или с механической подачей поршня, способных передавать нагрузку 5-100 кН. Точность отсчета показаний силоизмерительного устройства пресса до 5%.

Прессы для испытаний образцов-балочек должны быть оборудованы дополнительными приспособлениями – специальными столами (подставками) или траверсами, несущими на себе цилиндрические опоры для балочек, при этом одна из опор должна быть подвижной. Радиус закругления опорных поверхностей должен быть в пределах 10-15 мм. В подставке имеется отверстие для крепления индикатора часового типа (рис. 13.8).

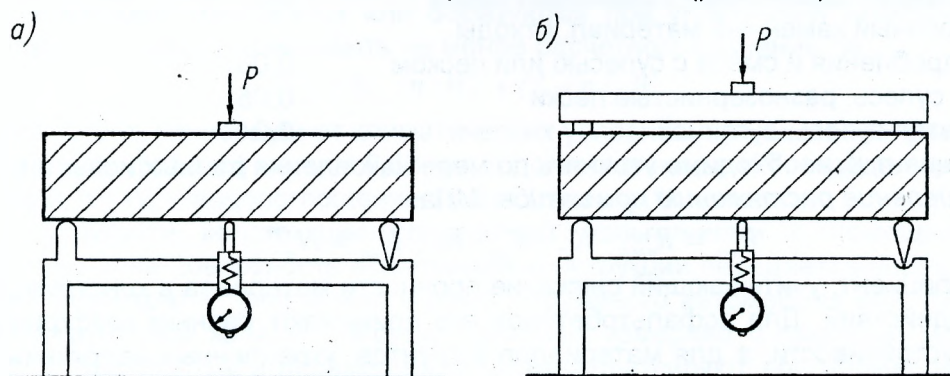


Рис. 13.8. Схемы для учета смятия балочки на опорах при испытаниях ее на изгиб: а – для общего вертикального перемещения середины балочки; б – для вертикального перемещения от смятия балочки на опорах

Предел прочности на растяжение при изгибе вычисляют по формуле (13.4), как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов; расхождение между результатами отдельных испытаний не должно превышать 15%. Ориентировочные значения предела прочности на растяжение при изгибе можно получить по результатам испытаний цилиндрических образцов на растяжение при расколе. В этом случае предел прочности на растяжение при изгибе $R_{изг.л} \approx 2R_{раск.}$, МПа и

$$R_{изг.л} = 3 \cdot P_p \cdot l / (2 \cdot b \cdot h^2), \quad (13.4)$$

где P_p – разрушающая нагрузка.

При определении модуля упругости образец нагружают ступенями, с разгрузкой после каждой ступени. Значение ступени нагрузки выбирают так, чтобы иметь три-пять ступеней в процессе испытания. Вертикальный прогиб $f_{сумм}$ балочки измеряют индикатором часового типа. Время действия каждой ступени нагрузки 1 мин, разгрузки – 30 с. Для исключения местного упругого смятия образца в зоне его контакта с опорами испытания производят по схеме, показанной на рис. 13.8.

Модуль упругости определяют при нагрузке 0,5-0,7 от разрушающей нагрузки по формуле (13.1) при $K_f=1,0$.

С помощью одного и того же образца-балочки можно одновременно с определением модуля упругости найти предел прочности на растяжение при изгибе. В этом случае испытывают ступенчато возрастающей нагрузкой до разрушения балочки. Ступень нагрузки ΔP назначают в зависимости от предельной нагрузки $P_{пр.}$, при которой фиксируется разрушение, исходя из условия $\Delta P < 0,1 P_{пр.}$.

За расчетную разрушающую нагрузку P_p принимают разность между предельной нагрузкой, при которой зафиксировано разрушение данной балочки, и половиной последней ступени ΔP .

В. Определение значений характеристик монолитных материалов по данным лабораторных испытаний. Расчетное значение модуля упругости, МПа

$$E_p = K_k \cdot E_{\tau}, \quad (13.5)$$

где K_k – коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости материала в конструктивном слое в процессе эксплуатации дороги.

Модули упругости слоев из монолитных материалов могут уменьшаться в результате образования трещин и водо-морозных воздействий и возрастать в результате длительных и многолетних физико-химических изменений вяжущих веществ. Для асфальтобетона трещинообразование не допускается, что же касается возможного снижения жесткости от водо-морозных воздействий, то они в большей или меньшей мере компенсируются повышением жесткости вяжущего. Поэтому для асфальтобетона следует принимать $K_k=1$. Для материалов и грунтов, укрепленных цементом, находящихся в конструктивных слоях дорожной одежды, характерно образование трещин и пространственная неоднородность. Ориентировочные значения коэффициента K_k с учетом укрепляемых неорганическими вяжущими материалами или грунтов следующие:

- | | |
|--|-------|
| – подобранная щебеночная (гравийная) смесь | 0,1; |
| – малопрочный каменный материал, отходы
камнедробления и смеси с супесью или песком | 0,06; |
| – легкая супесь, разнозернистые пески | 0,05; |
| – пылеватая супесь, суглинок | 0,04. |

Коэффициент K_k необходимо уточнять по мере накопления данных испытаний.

Сопротивление растяжению при изгибе, МПа

$$R_{изг} = R_{изг.л} \cdot K_p \cdot K_{кп} \cdot K_T; K_{кп} = N_p^{-m}, \quad (13.6)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий снижение прочности материала в конструкции от водо-морозных воздействий. Для асфальтобетонов его принимают равным коэффициенту длительной водостойчивости, а для материалов и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, равным коэффициенту морозостойкости; $K_{кп}$ – коэффициент, учитывающий кратковременность и повторность нагружений на дороге; для теплого и высокопористого асфальтобетона $K_{кп}=0,155$, для горячего асфальтобетона – 0,33, для материалов и грунтов, укрепленных цементом – 0,66; K_T – коэффициент, учитывающий снижение прочности материала в конструкции в результате температурно-усадочных воздействий. Принимая во внимание малое число данных натуральных наблюдений, для асфальтобетонов с учетом релаксации длительно действующих температурно-усадочных напряжений $K_T=1,6$, для укрепленных неорганическими вяжущими каменных материалов $K_T=0,9$, а для связных грунтов $K_T=0,8$; m – показатель усталостной зависимости. Для теплого (плотного и пористого) и высокопористого асфальтобетона $m=0,27$, для горячего (плотного и пористого) асфальтобетона $m=0,16$, а для материалов и грунтов, укрепленных цементом, $m=0,06$; N_p – расчетная интенсивность движения на одну полосу проезжей части в сутки, ед./сут.

В связи с недостаточной изученностью вопроса методы определения значений характеристик монолитных материалов по данным лабораторных испытаний следует рассматривать как приближенные.

Г. Определение модуля упругости грунтов и материалов в натуральных условиях.

Испытания проводят на реальных конструкциях, имеющихся на дорогах, или создаваемых в натурном масштабе на полигонах и в грунтовых каналах. Модули упругости грунтов земляного полотна и неукрепленных каменных материалов слоев оснований определяют испытанием местным нагружением.

Нагрузку на испытываемую конструкцию передают через круглый жесткий штамп с диаметром, близким к размеру усредненного следа колеса расчетного автомобиля ($30 \text{ см} < D < 34 \text{ см}$). Конструкции со слоями из монолитных или плотных слабосвязных материалов допускается испытывать с помощью сдвоенного пневматического колеса с профилем обода 203В, 216В, 228В.

Наиболее точно модуль упругости грунта или материала устанавливают на однородной полупространственной конструкции, устроенной путем послойной укладки и уплотнения грунта или материалов при общей толщине не менее $4D$. В этом случае модуль упругости вычисляют непосредственно по результатам испытания.

Модули упругости материалов слоев основания меньшей толщины определяют по результатам послойных штамповых испытаний. Послойно следует испытывать конструкции с основанием, имеющим не больше двух слоев.

Грунты и слои одежды в испытываемой конструкции должны быть уложены в соответствии с действующими правилами производства и приемки работ; они должны быть во всем массиве однородными по зерновому (гранулометрическому) составу, по показателям плотности и влажности. При этих условиях испытания можно проводить на дорогах после устройства и приемки земляного полотна и основания (до укладки покрытия), а также в процессе эксплуатации дороги при наличии достоверной информации об условиях ее строительства.

Получаемые в этих случаях данные испытания относятся к состоянию конструкции в момент проведения испытания, обычно при влажности грунта и материалов основания меньше расчетной. Для того, чтобы установить значения модулей упругости, соответствующие расчетному периоду, испытания следует приурочить к соответствующему моменту времени – весной, после дождей или специального увлажнения конструкции. В период испытания влажность связных грунтов должна соответствовать расчетной; влажность каменных материалов, в которых содержатся или образуются при уплотнении пластичные мелкие фракции (мельче 0,63 мм), должна быть не менее расчетного значения, %

$$W_p = K_k \cdot n \cdot W_T + (1 - n) \cdot W_k, \quad (13.7)$$

где K_k – коэффициент, зависящий от климатических условий и принимаемый равным 0,8; n – содержание в смеси фракций мельче 0,63 мм, в долях единицы; W_T – предел текучести этих мелких фракций, %; W_k – водопоглощение щебня (гравия), % по массе.

Модуль упругости конструкции определяют испытаниями с помощью установки (рис. 13.9). Нагрузка на поверхность испытываемой конструкции передается через круглый жесткий штамп 6 и домкрат 4, упираемый в раму 2 груженого автомобиля или упорную балку пресс-рамы на грунтовом канале. Нагрузку на штамп измеряют с помощью механического динамометра 3. Вертикальное перемещение штампа фиксируют прогибомером рычажного типа, измерительный стержень которого 1 устанавливают в центре штампа. В этом случае домкрат на трех опорных стойках 5 устанавливают на штампе соосно. Вертикальное перемещение штампа можно также замерять индикаторами часового типа, установленными вдоль диаметра штампа на равных расстояниях от его центра. Эти два индикатора надежно закрепляют на жесткой реперной балке, опоры которой должны быть удалены на расстояние не менее, чем $4D$ от штампа и колес испытательного автомобиля. Расчетное перемещение принимают равным полусумме отсчетов по этим индикаторам.

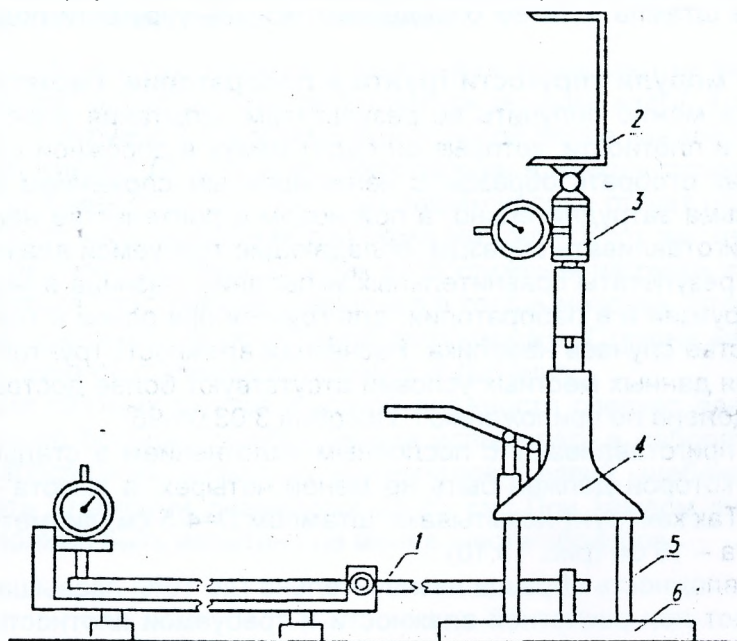


Рис. 13.9. Схема установки для штамповых испытаний дорожной одежды: 1 – стержень прогибомера; 2 – рама; 3 – механический динамометр; 4 – домкрат; 5 – опорные стойки; 6 – штамп

До испытания передние колеса автомобиля блокируют тормозами и жестко закрепляют на месте с помощью опорных башмаков.

При испытаниях автомобилем средней грузоподъемности для обеспечения испытательной нагрузки до 50 кН кузов и подпрессорную часть автомобиля «взвешивают» – приподнимают с помощью домкрата и под раму рядом с задним мостом подставляют опоры, на которые после разгрузки домкрата передается вес автомобиля. Расстояние между опорами и местом испытания должно быть не менее 1,5 м. При большом числе испытаний желательно, чтобы рессоры автомобиля были заблокированы. Штамп устанавливают на испытуемый слой после тщательного выравнивания его поверхности тонким слоем (1-5 мм) из мелкого песка без нарушения сложившейся структуры материала и тщательно вытирают. Затем конструкцию выдерживают под максимальной испытательной нагрузкой в течение 2 минут и разгружают.

Нагрузку при испытании прикладывают ступенями до максимального расчетного значения: 0,5 МПа на поверхности основания, 0,2 МПа на подстилающих слоях и песках и 0,5-1,0 МПа на связных грунтах земляного полотна (большие значения – при влажности грунта менее $0,7W_T$); всего должно быть не менее 3-5 ступеней. Время выдерживания нагрузки 30 с и паузы после разгрузки по 30 с, время, затрачиваемое на нагружение и разгрузку, 10-20 с.

Модуль упругости грунта или материала в однородной конструкции, а также общий модуль упругости слоистой конструкции, испытанных нагружением с помощью жесткого штампа рассчитывают по формуле, МПа

$$E_y = 0,25 \cdot \pi \cdot P \cdot D \cdot (1 - \mu^2) / l, \quad (13.8)$$

где P – максимальное расчетное давление от штампа, кН; D – диаметр жесткого штампа, см; μ – коэффициент Пуассона (для грунтов земляного полотна $\mu=0,35$, для материалов оснований $\mu=0,25$, а при вычислении общего модуля упругости $\mu=0,30$); l – упругая деформация, соответствующая этой нагрузке, см.

Для дорожной одежды, испытанной с помощью сдвоенного колеса автомобиля, общий модуль упругости, МПа

$$E_y = (1 - \mu^2) \cdot P / (0,4 \cdot \pi \cdot l \cdot D), \quad (13.9)$$

где P – общая нагрузка на колесо, кН; l – упругий прогиб конструкции между баллонами колеса, см; D – диаметр условного круглого гибкого штампа, передающего нагрузку на покрытие, равный 33 см.

При послойных испытаниях после определения общего модуля упругости в месте установки жесткого штампа удаляют материал испытуемого слоя на площадке размерами не менее трех диаметров штампа и затем определяют модуль упругости подстилающих грунтов и материалов.

Д. Определение модуля упругости грунта в лаборатории. Расчетные значения модулей упругости грунта можно получить по результатам испытания грунта в лаборатории при той же влажности и плотности, которые он будет иметь в дорожной конструкции в расчетный период. Так как отобрать образцы с ненарушенным сложением из конструкции в расчетный период весьма затруднительно, а при новом строительстве невозможно, приходится искусственно приготавливать образцы, обладающие требуемой влажностью и плотностью. Как показывают результаты сравнительных испытаний, разница в модулях упругости, определенных в конструкции и в лаборатории, для грунтов при одной и той же влажности и плотности, в большинстве случаев невелика. Расчетная влажность грунтов при приготовлении образцов (если для данных местных условий отсутствуют более достоверные ее значения) может быть определена по приложению Г Пособия 3.03.01-96.

Образцы грунта приготавливают с послойным уплотнением в стальной цилиндрической форме, диаметр которой должен быть не менее четырех, а высота – не менее трех диаметров D штампа. Так как грунт испытывают штампом $D=4-5$ см, диаметр формы должен быть 15-20 см, а высота – 15 см (рис. 13.10).

Когда расчетная влажность образца незначительно (до 10%) превышает оптимальную, образец приготавливают при расчетной влажности и требуемой плотности. В этом случае необходимое количество (по массе) равномерно увлажненного грунта укладывают в форму в три-четыре приема, обычно равными порциями. Каждый слой уплотняют металлической трамбовкой до требуемого по расчету объема. Образовавшуюся на поверхности каждого

слоя переуплотненную корку разрыхляют, затем укладывают и уплотняют следующую порцию грунта, и так до заполнения всей формы. Образец изготавливают на 2 см выше поверхности формы, для чего к форме с помощью фланцев крепят надставку, разрезанную по образующей (см. рис. 13.10). Перед испытанием надставку снимают, а излишек грунта аккуратно срезают заподлицо с поверхностью формы. Этим обеспечивают гладкую однородную поверхность образца, на которую устанавливают штамп при испытании.

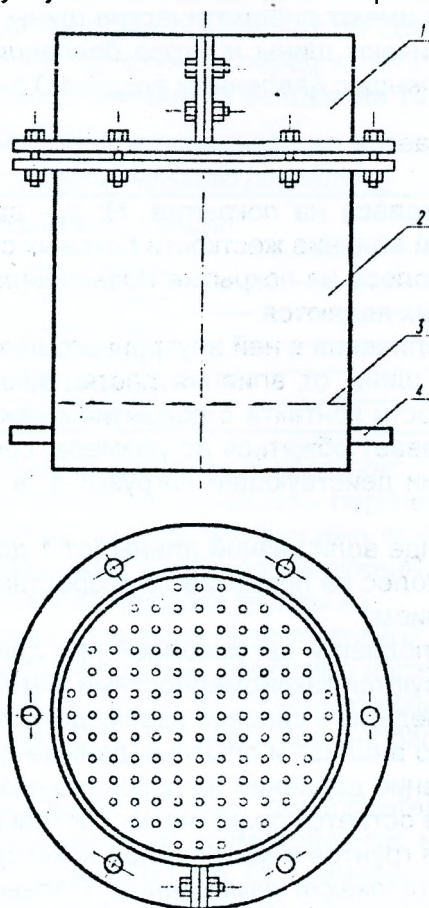


Рис. 13.10. Форма со съемной надставкой для определения модуля упругости грунта: 1 – надставка; 2 – форма; 3 – днище с отверстиями; 4 – патрубок

Уплотненный в форме грунт вместе с надставкой помещают не менее, чем на сутки во влажный эксикатор для более равномерного распределения влаги. Только после этого образец испытывают – нагружают ступенями с разгрузкой после каждой ступени. Каждую ступень нагрузки выдерживают до затухания деформации (разница отсчетов по индикаторам – не более 0,01 мм за 5 минут). После того, как зафиксирован отсчет по индикаторам, штамп разгружают и ожидают восстановления деформации (допуск тот же, что и при нагружении). Затем нагружают следующей ступенью, и так до достижения нагрузки, при которой начинают интенсивно развиваться пластические смещения в толще массива. Это обычно сопровождается значительным увеличением остаточной деформации. Ступени нагрузки выбирают такими, чтобы иметь три-пять ступеней в процессе испытания.

При испытании связных грунтов высокой влажности следует давать пригрузку вокруг штампа. Во избежание больших ошибок нельзя испытывать в лаборатории малыми штампами образцы слабосвязных зернистых материалов (гравий, щебень). Такие материалы следует испытывать штампами диаметром 25-35 см. При каждом значении влажности и плотности грунта должно быть испытано не менее шести образцов.

14. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

14.1. Нагрузка на дорожную одежду

Давление колес автомобилей на дорожную одежду является основной нагрузкой, из которой исходят при расчете дорожных одежд.

Современные автомобили имеют пневматические шины с внутренним давлением воздуха от 0,15 до 0,7 МПа. Различают шины *низкого давления* с давлением воздуха 0,175-0,50 МПа и шины *высокого давления* с давлением воздуха 0,5-0,7 МПа.

Нагрузка от колеса передается на поверхность дороги через площадь $\omega = \frac{G_k}{k_{ж} p_o}$, где

G_k – статическая нагрузка от колеса на покрытие, Н; p_o – давление воздуха в шине, Па; $k_{ж}$ – коэффициент, учитывающий влияние жесткости боковых стенок шин (в среднем $k_{ж}=1,1$).

При движении давление колеса на покрытие *повышается* в результате влияния ряда факторов, основными из которых являются:

- 1) нагревания шины и увеличения в ней внутреннего давления воздуха;
- 2) увеличения жесткости шины от влияния растягивающей покрывку центробежной силы – кратковременности контакта с покрытием каждого участка шины, в результате чего шина не успевает обжаться до размера, соответствующего статическому приложению фактически действующей нагрузки, т. е. как бы становится более жесткой;
- 3) неровности дороги в виде волн разной длины (от 1 до 20 м и более), при движении по которым давление колес на покрытие то возрастает, то уменьшается по сравнению со средним значением.

Исследование колебаний подвески автомобилей при движении по дороге, неровности на покрытии которой характеризуются закономерностями математической теории случайных функций, дают возможность определить силовое взаимодействие дороги и автомобиля.

Результаты теоретического анализа и опытные данные привели к выводу, что *при скорости до 80 км/ч* среднее значение давления на покрытие возрастает примерно прямо пропорционально скорости, а далее остается практически постоянным.

Из-за проявления вязкости грунтов и материалов некоторых конструктивных слоев деформации дорожных одежд *протекают замедленно*. Полный прогиб одежды, соответствующий приложенной нагрузке, достигается лишь по прошествии нескольких минут. При кратковременном воздействии на дорогу катящегося колеса в результате замедленности протекания деформации и инерционного сопротивления дорожная одежда прогибается меньше, чем при статическом приложении равной нагрузки. Поэтому можно считать, что в этом случае динамический коэффициент для грунтового основания менее единицы.

При *неровной поверхности* динамический коэффициент для грунтового основания превышает единицу, но меньше коэффициента, измеренного по непосредственному ударному воздействию колеса на поверхность дороги. Динамический коэффициент тем выше, чем более неровно покрытие. При расчетах дорожных одежд его принимают 1,3.

В *Беларуси* за расчетную нагрузку для дорожных одежд всех типов на загородных участках дорог принимают осевые автомобильные нагрузки 60 и 100 кН (6 и 10 тс). За рубежом во многих странах расчеты ведут на осевые нагрузки в 100 и 130 кН (10 и 13 тс).

Данные о расчетных нагрузках приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1. Расчетные нагрузки на дорожную одежду

Транспортные средства	Наименьшая статическая нагрузка на ось, кН	Нормируемая нагрузка от колеса, кН		Среднее давление, МПа	Расчетный диаметр колеса, см	
		неподвижного	движущегося		неподвижного	движущегося
Автомобили: группы А группы Б	100	50	65	0,6	33	37
	60	30	39	0,5	28	32
Автобусы: группы А группы Б	110	55	72	0,6	35	40
	70	35	46	0,5	30	34

Нагрузки от автомобилей группы А используют при расчетах одежд на дорогах I-III, I-с и II-с категорий. Предусмотрен постепенный переход на расчет на эту нагрузку одежд и вновь строящихся дорог IV категории. В дальнейшем в процессе капитальных ремонтов одежд на дорогах IV категории будут усиливаться под нагрузку 100 кН. Дороги V категории, если по ним не предусматривается проезд большегрузных автомобилей, рассчитываются на осевую нагрузку 60 кН.

Воздействие транспортной нагрузки оценивают по составу и интенсивности перспективного движения, ожидаемого на год службы перед капитальным ремонтом. Срок службы дороги до капитального ремонта принимают на основании табл. 14.2 в зависимости от категории дороги и типа дорожной одежды.

Таблица 14.2. Срок службы дороги до капитального ремонта

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Срок службы одежды до капитального ремонта T , лет
I	капитальный	14
II, III-п, I-с	капитальный	12
III, IV-п, II-с	капитальный	11
III, IV-п, II-с	облегченный	10
IV, III-с	облегченный	8
IV, V, III-с	переходный, низший	5

Основные принципы назначения расчетных нагрузок:

- при расчете дорожных одежд на прочность перспективную интенсивность движения различных типов транспортных средств необходимо привести к интенсивности воздействия расчетной нагрузки на одиночную наиболее нагруженную ось двухосного автомобиля, равную 100 кН (10 тс) (нормированная нагрузка группы А);

- в случае, когда в составе движения проектируемой дороги предусматривают движение автомобилей или других транспортных средств с нагрузками на ось, превышающими нормированные для автомобилей группы А, за расчетную следует принимать наибольшую нагрузку, воздействие которой ожидается в наиболее неблагоприятный для работы дорожной одежды период года;

- если в расчетный весенний период предполагается движение транспортных средств с нагрузкой на ось, превышающей нормированную не более, чем на 20%, а число таких транспортных средств не превышает 5% от суммарной интенсивности движения грузовых автомобилей и автобусов, то за расчетную следует принимать нормированную нагрузку группы А;

- в случае, когда в наиболее неблагоприятный период года на дороге не предполагается движение транспортных средств группы А или их количество не превышает 3% от суммарной интенсивности движения грузовых автомобилей и автобусов, а по дороге предусматривается проезд главным образом двухосных автомобилей с наибольшей статической нагрузкой на ось 60 кН (6 тс), трехосных – 50 кН (5 тс), автобусов – 70 кН (7 тс), в качестве расчетной следует принимать нормированную нагрузку группы Б, равную 60 кН (6 тс). Основные параметры нормированных нагрузок А и Б приведены в табл. 14.1.

14.2. Прочность нежестких дорожных одежд

Деформация нежестких дорожных одежд является результатом проявления ряда процессов (рис. 14.1), протекающих одновременно или следующих друг за другом:

- 1) *грунтовое основание дорожной одежды сжимается под нагрузкой в пределах активной зоны*, вследствие чего происходит прогиб дорожной одежды по некоторой криволинейной поверхности с образованием так называемой «чаши прогиба» глубиной Δ . Чем большую толщину и жесткость имеет дорожная одежда, тем на большую площадь распределяется давление внешней нагрузки и, следовательно, тем меньше напряжения, передающиеся на грунт;

- 2) *под нагрузкой происходит сжатие материала дорожной одежды*, а в нижней части изогнувшихся конструктивных слоев – растяжение. При превышении растягивающими напряжениями предела прочности материала в покрытии или основании образуются трещины. По периметру участка контакта нагрузки с покрытием действуют срезающие напряжения,

которые при больших нагрузках вызывают пролом дорожной одежды, иногда с выкалыванием ее части, находящейся под нагрузкой, в виде расширяющегося книзу усеченного конуса;

3) в основаниях из несвязных и малосвязных материалов (гравия, песка, щебня) и в подстилающем грунте при превышении касательными напряжениями сопротивления сдвигу могут возникать зоны пластического течения с выжиманием грунта из перенапряженной зоны, развитие которых приводит к потере прочности одежды.

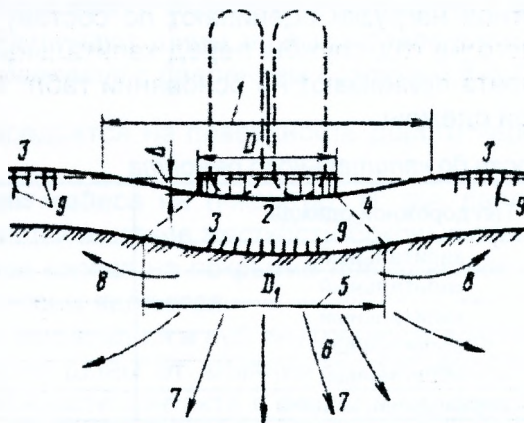


Рис. 14.1. Схема образования «чашки прогиба» и разрушения нежестких дорожных одежд под колесом автомобиля: 1 – «чаша прогиба»; 2 – зона сжатия одежды; 3 – зона растяжения; 4 – поверхность среза одежды; 5 – площадь передачи давления на грунт; 6 – уплотнение грунта в основании; 7 – направление сжатия грунта; 8 – выпирание грунта; 9 – трещины в одежде; Δ – осадка дорожной одежды

Относительная роль каждой из указанных деформаций в разрушении дорожных одежд различна в конструкциях из разных материалов и меняется в зависимости от характера приложения и длительности действия нагрузки, а также влажности и температуры конструктивных слоев одежды.

При многократном приложении к нежесткой дорожной одежде различных нагрузок, передающихся через одинаковые площадки (штампы), кривая нарастания прогиба покрытия по мере загрузений в зависимости от размера нагрузки может соответствовать одной из кривых, показанных на рис. 14.2.

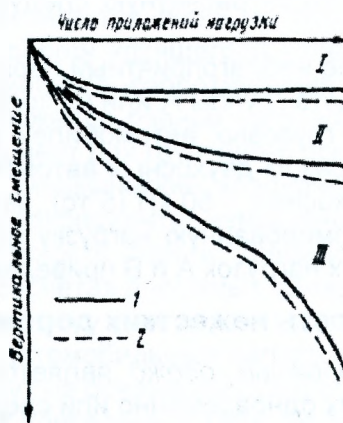


Рис. 14.2. Закономерности накопления деформаций дорожных одежд при многократных нагружениях: 1 – остаточные деформации; 2 – полная деформация

Если нагрузки соответствуют расчетной прочности дорожной одежды, а ее слой и грунт земляного полотна хорошо уплотнены, дорожная одежда испытывает *только упругие прогибы*. Лишь в первый период после сдачи дороги в эксплуатацию, пока происходит окончательное формирование, некоторые дорожные одежды могут испытывать остаточные деформации, связанные с дополнительным уплотнением, которые в дальнейшем прекращаются, и одежда затем испытывает только упругие деформации (*линия I*). Происходящее в процессе эксплуатации дороги незначительное накопление деформаций связано с процессами старения и износа материала конструктивных слоев одежды.

При воздействии нагрузок, превышающих расчетные, или при временном снижении прочности грунтов основания в весенний или осенний периоды возникают постепенно накапливающиеся малые пластические деформации (*линия II*). Если их суммарное значение за период ослабления одежды превысит некоторое допустимое значение, одежда разрушится (*линия III*).

Таким образом, *прочность одежды зависит* от предельного допустимого прогиба и количества приложений нагрузки за период ослабления. При очень больших нагрузках или при значительном снижении прочности грунта осадки, вначале накапливающиеся замедленно, в дальнейшем начинают быстро возрастать, и происходит полное разрушение одежды.

В зависимости от требований, предъявляемых к дороге, *расчет толщины дорожной одежды* можно вести из условия достижения заданного значения деформации.

Считается, что дорожные одежды с *покрытиями капитальных типов* должны работать в стадии упругих деформаций с обеспечением достаточного запаса прочности и в наиболее неблагоприятные периоды года, когда грунт имеет наименьшую прочность. На дорогах с покрытиями *усовершенствованных облегченных типов* дорожные одежды также рассчитывают на работу без допущения возможности накопления пластических деформаций, но с меньшими запасами прочности, чем при покрытиях капитальных типов.

Одежды с *покрытиями переходных типов*, восстановление ровности которых легко осуществимо, рассчитывают, допуская некоторое накопление деформаций под действием движения. Это дает возможность снижения толщины дорожной одежды.

В связи со сложностью процессов, протекающих в деформируемой дорожной одежде, за обобщенный показатель ее прочности при расчете принимается комплексная характеристика – **допускаемый упругий прогиб**. Конструкцию дорожной одежды, удовлетворяющую этому основному требованию, дополнительно проверяют по **следующим критериям**:

- 1) устойчивости несвязных слоев против возникновения сдвигов;
- 2) допустимому значению растягивающих напряжений в слоях связных материалов;
- 3) допустимому значению зимнего вспучивания, обеспечению отвода воды из пористых слоев.

При расчете дорожных одежд на прочность следует учитывать перспективную интенсивность движения автомобилей разных марок в двух направлениях, которая приводится к эквивалентной интенсивности воздействия расчетной нагрузки на одну полосу проезжей части в сутки

$$N_p = f_{пол} \cdot N \cdot \sum_{m=1}^n S_m \cdot P_m, \quad (14.1)$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (табл. 14.3); N – суммарная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях на дороге (формула 14.2), авт/сут; n – количество типов автомобилей в транспортном потоке; S_m – коэффициент приведения рассматриваемого типа автомобиля к расчетному (таблица В.2 приложения В Пособия 3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85); P_m – доля m -го типа автомобиля в составе транспортного потока.

Таблица 14.3. Значения коэффициента, учитывающего число полос движения и распределение движения по ним

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

Примечания. 1. Порядковый номер полосы считается справа по ходу движения в одном направлении. 2. Для расчета обочин принимается $f_{пол}=0,01$, для расчета останочных полос $f_{пол} > 0,33$. 3. На многополосных дорогах допускается проектировать одежду переменной толщины по ширине проезжей части, рассчитав дорожную одежду в пределах различных полос в соответствии с расчетными значениями N_p . 4. На перекрестках и подходах к ним при расчете дорожной одежды в пределах всех полос движения нужно принимать $f_{пол}=0,50$, если общее число полос проезжей части проектируемой дороги более трех. 5. В городских условиях на многополосных улицах и дорогах значения $f_{пол}$ могут отличаться от приведенных. В этом случае $f_{пол}$ следует уточнять на основе натурных наблюдений.

Перспективную суммарную интенсивность движения автомобилей с грузоподъемностью более 5т в обоих направлениях на дороге определяют по формуле

$$N = N_0 \cdot (1 + q)^{T-1}, \quad (14.2)$$

где N_0 – интенсивность движения в первый год службы дороги, ед/сут; q – коэффициент среднегодового прироста интенсивности движения; T – число лет службы дороги до капитального ремонта (см. табл. 14.2).

Коэффициент роста интенсивности движения определяют на основании учета движения на дороге. Рассчитывают вначале частные значения q_i

$$q_i = \frac{N_{T_i}}{N_{T_{i-1}}}, \quad (14.3)$$

где N_{T_i} и $N_{T_{i-1}}$ – соответственно интенсивности движения в последующий и предыдущий годы, ед/сут.

Расчетные значения коэффициента роста интенсивности движения определяют по зависимости

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{T_i-1} q_i}{T_i - 1}, \quad (14.4)$$

где T_i – период, в течение которого проводились наблюдения за интенсивностью движения, годы.

При отсутствии данных длительных наблюдений принимают $q = 0,05$. Наблюдения за интенсивностью движения проводят, как правило, на основе выборочного метода, когда характеристики транспортного потока фиксируют только на отдельных учетных пунктах или только в определенное время.

Для транспортных средств, не указанных в таблице В.2 Пособия 3.03.01-96, а также при расчетных нагрузках, отличающихся от нормированных для автомобилей группы А, значения коэффициента приведения следует определять по зависимости

$$S_m = \left(\frac{Q_n^3}{Q_p} \right)^{4,4}, \quad (14.5)$$

где Q_n^3 – наибольшая эквивалентная нагрузка от колеса автомобиля, кН; Q_p – расчетная колесная нагрузка, кН.

Полученное значение коэффициента S_m следует принимать для усовершенствованных капитальных типов дорожной одежды. Для других типов дорожных одежд коэффициент S_m следует назначать по аналогии с ближайшим по параметрам автомобилем.

При проектировании дорожных одежд для многоколесных транспортных средств, а также при определении возможности единичных проездов таких автомобилей по существующей дороге в качестве расчетной принимают наибольшую эквивалентную нагрузку Q_n^3 с параметрами p и D_n^3 .

Эквивалентную нагрузку Q_n^3 определяют с учетом влияния колес данной оси и соседних осей, расположенных друг от друга на расстоянии менее 2,5 м.

Для расчета дорожной одежды на воздействие движущегося многоколесного транспортного средства эквивалентная нагрузка

$$Q_n^3 = Q_{ni} \cdot (g_{n-1} + 1 + g_{n+1}) \cdot K_q \cdot K_{дин}, \quad (14.6)$$

где $K_q = q_{i-1} + 1 + q_{i+1}$; Q_{ni} – номинальная статическая нагрузка на i -ое колесо, кН (с одиночными или спаренными шинами) n -ой оси; g_{n-1} , g_{n+1} – коэффициенты, характеризующие соответственно влияние впереди и сзади идущих колес движущегося транспортного средства на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды под данным колесом n -ой оси и определяемые по графику (рис. 14.3) в зависимости от отношения расстояния L между осями к диаметру D_0 следа данного колеса; $K_{дин}$ – коэффициент динамичности, учитывающий повышение нагрузки на покрытие при колебаниях транспортного средства, принимаемый

равным 1,3; q_{i-1}, q_{i+1} – коэффициенты, характеризующие дополнительное воздействие других колес данной n -ой оси и определяемые по графику (рис. 14.4). При $1 < l/D_0 < 2$ принимают $q(l) = 1$; l – расстояние между соседними колесами.

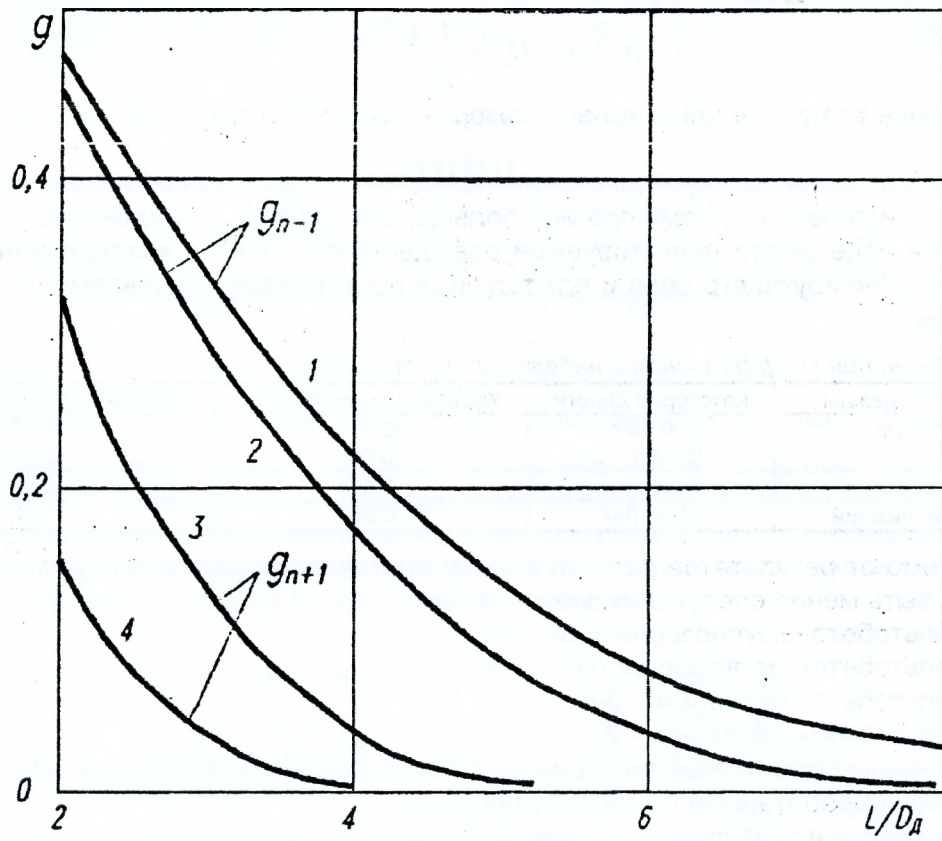


Рис. 14.3. Зависимость коэффициентов g_{n-1} и g_{n+1} от отношения L/D_0

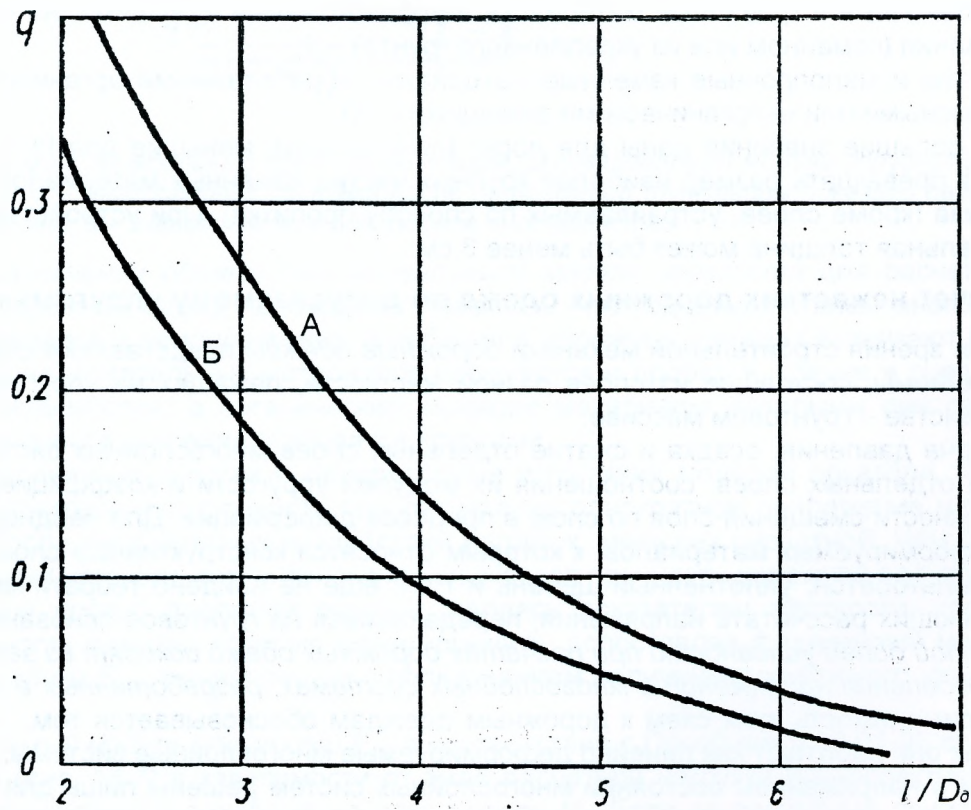


Рис. 14.4. Зависимость коэффициентов q от отношения l/D_0 при приведении к расчетным автомобилям группы А и Б

Определив Q_n^2 для различных колес многоколесного транспортного средства, находят наибольшее значение эквивалентной нагрузки, которое принимают за расчетное. Параметры расчетной эквивалентной нагрузки, кН

$$p = p_v, D_0^2 = \frac{4 \cdot Q_n^2}{\pi \cdot p}, \quad (14.7)$$

где p_v – давление воздуха в шине колеса, которому соответствует наибольшая эквивалентная нагрузка, кН.

Конструкция дорожной одежды *считается прочной*, если коэффициент прочности на растяжение при изгибе и упругому прогибу больше или равен $K_{пр}$, найденного с учетом требуемого уровня надежности проектируемой одежды (табл. 14.4), а коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя и его толщина обеспечивают своевременный отвод избыточной воды.

Таблица 14.4. Значения коэффициентов надежности и прочности

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Уровень надежности K_n	Коэффициент прочности $K_{пр}$
Капитальный	I, II, III-п	0,95	0,95
	III, IV-п, I-с	0,90	0,85
Облегченный	III, IV, II-с	0,85	0,80
Переходный, низший	IV, V, III-с	0,60	0,60

Независимо от результатов расчета **минимальная толщина конструктивных слоев** не должна быть менее следующих значений (см):

- асфальтобетон крупнозернистый – 6-7;
- асфальтобетон мелкозернистый – 3-5;
- асфальтобетон песчаный – 3-4;
- асфальтобетон холодный – 3;
- щебеночные (гравийные) материалы, обработанные органическими вяжущими – 8;
- щебень, обработанный по способу пропитки – 8;
- щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими, на песчаном основании – 15;
- щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими, на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта) – 8;
- грунты и малопрочные каменные материалы, обработанные органическими комплексными или неорганическими вяжущими – 10.

Здесь большие значения даны для дорог I-II категории, меньшие для III-IV. Толщина слоя должна превышать размер наиболее крупных частиц каменных материалов не менее, чем в 1,5 раза (кроме слоев, устраиваемых по способу пропитки). При устройстве слоев износа минимальная толщина может быть менее 3 см.

14.3. Расчет нежестких дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу

С точки зрения строительной механики *дорожные одежды* представляют собой *многослойные системы*, состоящие из слоев разной жесткости, лежащих на упругоизотропном полупространстве – грунтовом массиве.

Передача давления, осадка и сжатие отдельных слоев многослойных систем зависят от толщины отдельных слоев, соотношения их модулей упругости и коэффициентов Пуассона, возможности смещения слоя по слою в процессе деформации. Для неоднородных нелинейно деформируемых материалов, к которым относятся конструктивные слои дорожных одежд (асфальтобетон, уплотненный щебень и т.п.), еще не найдено теоретических решений, позволяющих рассчитать напряжения, передающиеся на грунтовое основание. Поэтому с некоторой долей условности при расчетах дорожных одежд исходят из закономерностей распределения напряжений в многослойных системах, разработанных в теории упругости. Применимость этих схем к дорожным одеждам обосновывается тем, что при малых прогибах они работают как линейно деформируемые многослойные системы.

Задачи о напряженном состоянии многослойных систем решены лишь для некоторых частных случаев. Трудность задачи возрастает с увеличением числа рассматриваемых слоев и поэтому большинство решений относится к двухслойным системам, у которых верхний слой имеет больший модуль упругости, чем нижний.

Решения обычно даются в виде таблиц напряжений и вертикальных перемещений двух- и трехслойных систем под действием вертикальной нагрузки, равномерно распределенной по круглой площадке (рис. 14.5). В таблицах приводятся значения смещений поверхности полупространства и напряжений в слоях для разных соотношений модулей упругости E_1/E_2 , толщин слоев и диаметра площадки, через которую передается нагрузка, h/D при разных коэффициентах Пуассона.

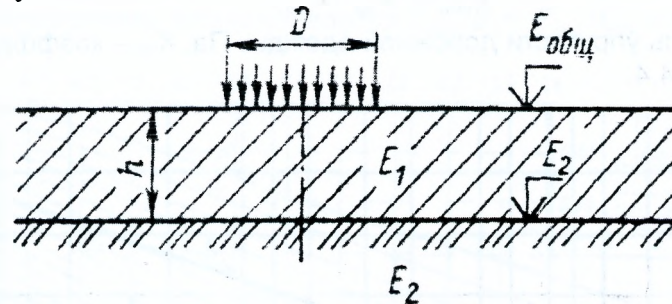


Рис. 14.5. Схема двухслойной системы для расчета толщины дорожных одежд

Конструкции применяемых дорожных одежд весьма разнообразны. Для обеспечения их равнопрочности и возможности сопоставления разных вариантов по прочности их оценивают эквивалентным модулем упругости – общим модулем упругости – модулем такого однородного полупространства, которое при приложении расчетной нагрузки имеет такую же деформацию, как многослойная дорожная одежда (рис. 14.6).

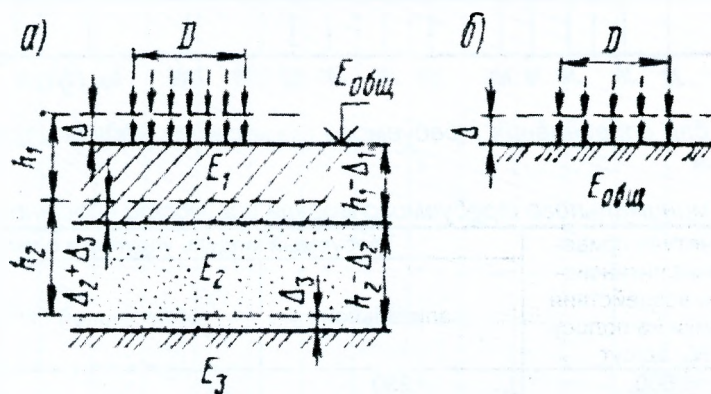


Рис. 14.6. Схема к определению понятия об общем (эквивалентном) модуле упругости многослойной системы: а – многослойная система после деформации (пунктиром показано первоначальное положение слоев); б – эквивалентное однородное пространство

При назначении общего (эквивалентного) модуля упругости для расчета толщины нежестких дорожных одежд необходимо учитывать, что под воздействием многократно прилагаемых нагрузок и температурных колебаний в дорожных одеждах возникают явления усталости. Зерна минеральных материалов истираются и дробятся, трение и сцепление между ними уменьшаются, а органические вяжущие материалы, которыми они связаны, под влиянием процесса старения становятся хрупкими.

Наблюдения на дорогах и лабораторные испытания моделей показали, что одежды, имевшие значительную прочность при расчете на однократное приложение нагрузки, разрушались после многократных воздействий нагрузок, меньших расчетной. Чем больше число приложений нагрузки, тем интенсивнее снижается прочность дорожной одежды.

Упругий прогиб дорожной одежды, являясь показателем жесткости, характеризует также прочность одежды, которую можно оценить, сопоставляя фактический модуль с требуемым модулем E_{mp} , вычисляемым с использованием величины допустимого упругого прогиба.

Требуемый модуль упругости E_{mp} в соответствии с Пособием 3.03.01-96 определяется по графику (рис. 14.7) в зависимости от вида расчетной нагрузки и перспективной эквивалентной интенсивности движения на одну полосу N_p . Если за расчетный принят автобус с нагрузкой на ось 110 кН (группа А) или 70 кН (группа Б), то требуемые модули упругости, оп-

ределенные по графику следует увеличивать на 10%. При земляном полотне, сложенном из песчаных грунтов, необходимо требуемый модуль упругости увеличить на 5%.

Во всех случаях значения требуемых модулей не должны быть ниже минимально допустимых значений, приведенных в табл. 14.5.

Прочность дорожной одежды по критерию упругого прогиба обеспечена при условии

$$E_{\text{общ}} \geq K_{\text{пр}} \cdot E_{\text{тр}}, \quad (14.8)$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости дорожной одежды, Па; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прочности, определяемый по табл. 14.4.

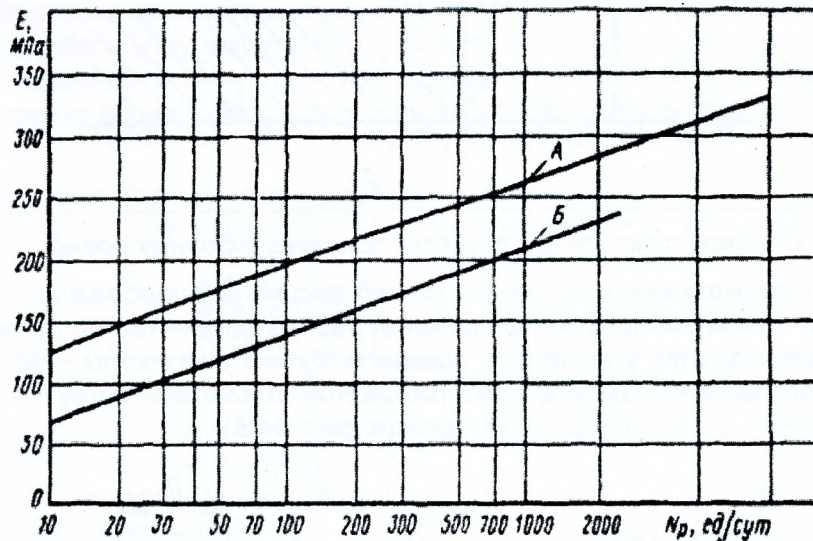


Рис. 14.7. Номограмма для определения требуемого суммарного модуля упругости при расчетах по упругим деформациям

Таблица 14.5. Значения минимального требуемого модуля упругости дорожной одежды

Категория дороги	Расчетная приведенная интенсивность воздействия нагрузки на полосу, N_p , ед/сут	Требуемый модуль упругости одежды $E_{\text{тр}}$, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	500	230	–	–
II	250	220	180	–
III	70	180	160	–
IV	(70)	–	125	65
V	(50)	–	100	50

Примечание. Интенсивность воздействия нагрузки в скобках приведена для группы Б, без скобок – для группы А

Расчет дорожной одежды по допустимому упругому прогибу выполняют с использованием номограммы (рис. 14.8) следующим образом:

1) в зависимости от категории дороги и намеченного типа покрытия по табл. 14.4 устанавливается минимальное значение коэффициента прочности одежды $K_{\text{пр}}$;

2) по формуле (14.1) вычисляется перспективная эквивалентная интенсивность N_p на одну полосу в сутки;

3) по графику (см. рис. 14.7) определяется требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}}$, который при необходимости корректируется с учетом табл. 14.5;

4) вычисляется по формуле (14.8) общий модуль упругости $E_{\text{общ}}$;

5) общая толщина верхних слоев, содержащих органическое вяжущее, предварительно назначается в пределах: при $E_{\text{общ}}=250-300$ МПа – 0,13-0,16 м; $E_{\text{общ}} = 220-250$ МПа – 0,10-0,13 м; $E_{\text{общ}} = 180-220$ МПа – 0,08-0,10 м; $E_{\text{общ}} = 125-180$ МПа – 0,06-0,08 м; $E_{\text{общ}} < 125$ МПа – 0,04-0,06 м.

6) проводя послойный расчет сверху вниз по номограмме рис. 14.8, определяется общий модуль упругости на поверхности основания $E'_{\text{общ}}$ (при этом, вычисляя $E_{\text{общ}}/E_1$ и h_1/D , по номограмме определяется E_2/E_1 и рассчитывается $E_2 = E'_{\text{общ}}$);

7) затем проводится послойный расчет снизу вверх и определяется общий модуль упругости на поверхности дополнительного слоя основания $E''_{общ}$ либо $E'''_{общ}$ (в зависимости от числа вышележащих слоев). При этом, определив отношение модуля упругости грунта $E_{зр}$ к модулю упругости материала дополнительного слоя основания $E_{ос}$, т. е. $E_{зр}/E_{ос} = E_2/E_1$, и отношение толщины дополнительного слоя основания к диаметру следа колеса расчетного автомобиля $h_{ос}/D$ по номограмме устанавливается $E_{общ}/E_1 = E''_{общ}/E_{ос}$ и вычисляется $E''_{общ}$;

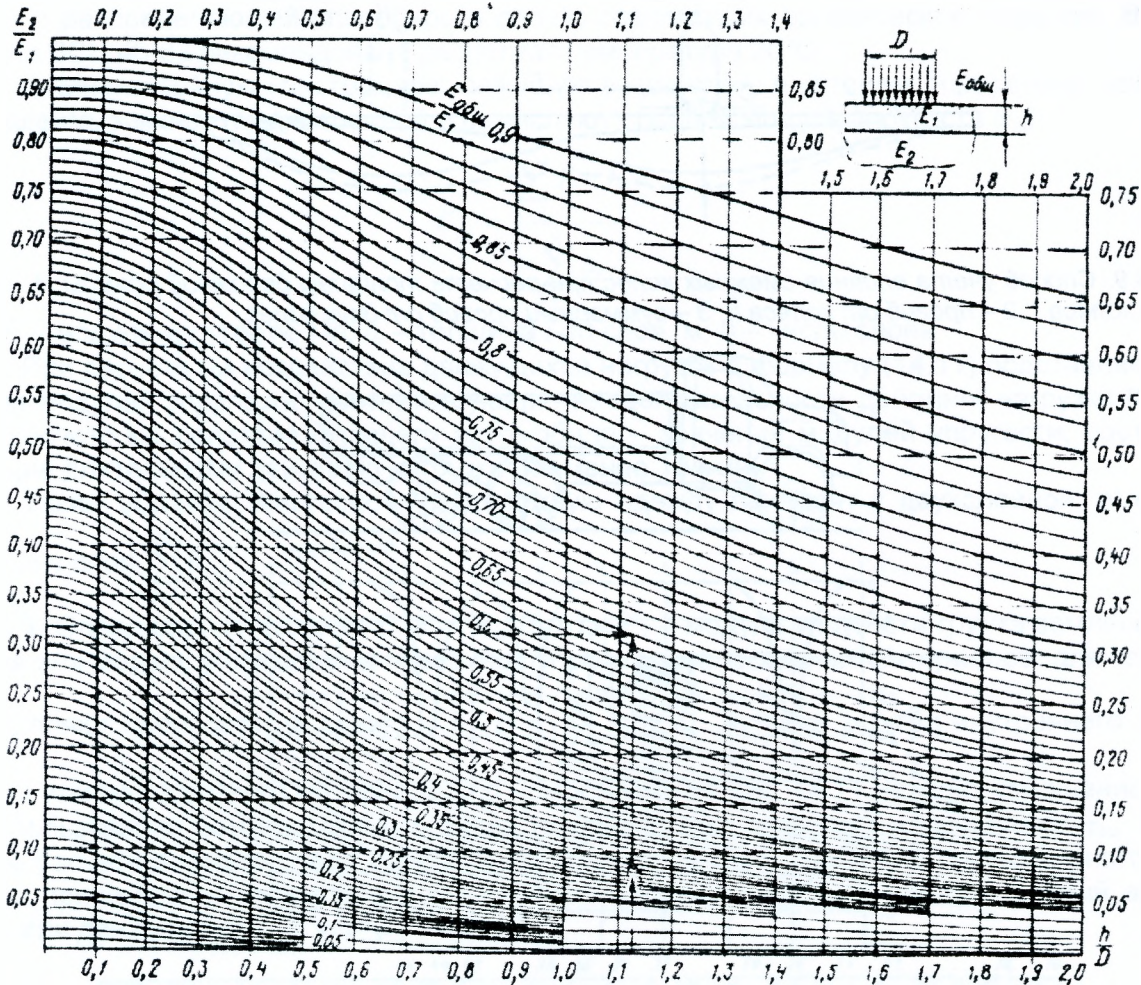


Рис. 14.8. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{общ}$ двухслойной системы: цифры на кривых соответствуют отношению $E_{общ}/E_1$; E_1 – модуль упругости верхнего слоя; E_2 – общий модуль упругости на поверхности подстилающего верхний слой полупространства; h – толщина верхнего слоя; D – диаметр следа колеса расчетного автомобиля

8) определяется толщина слоя основания $h_{осн}$, вычислив отношения $E''_{общ}/E_{осн} = E_2/E_1$ и $E'_{общ}/E_{осн} = E_{общ}/E_1$ и определив по номограмме $h/D = h_{осн}/D$.

При числе слоев, превышающем четыре (включая грунт земляного полотна), проводится дополнительный расчет аналогично рассмотренному. Полученные расчетом мощности слоев должны быть не менее минимально допустимых. Минимальная толщина дополнительного слоя основания из песка принимается по табл. 14.6.

Таблица 14.6. Минимальная толщина дополнительного слоя основания из песка, м

Грунт земляного полотна	Увлажнение местности		
	избыточное	нормальное	недостаточное
Мелкие пески	0,10	0,10	—
Супесь мелкая	0,15	0,12	0,10
Суглинки тяжелые и глины	0,25	0,20	0,15
Пылеватые суглинки и пылеватые грунты	0,30	0,20	0,15

Грунт земляного полотна *повышенной плотности* можно рассматривать как самостоятельный слой дорожной одежды. Его расчетные характеристики рекомендовано принимать примерно на 50% выше нормируемых для данных условий.

Фактически на прогиб дорожных одежд влияет и нагрузка от соседних колес, так как волны прогиба покрытия часто перекрываются (рис. 14.9). Это обстоятельство приходится учитывать при расчетах дорожных одежд на пропуск *трейлеров и трехосных автомобилей*. На рис. 14.10 показано, как суммируются эпюры напряжений в грунте от разных колес.

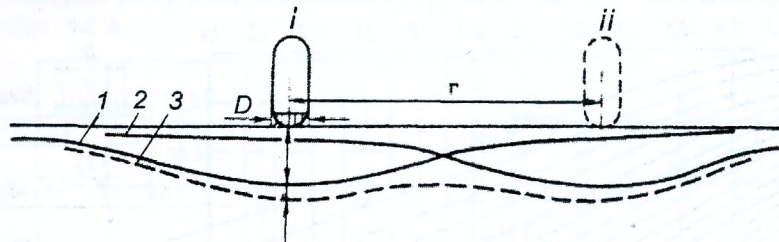


Рис. 14.9. Способ учета влияния смежных колес при расчете толщины дорожной одежды: 1 – прогиб от колеса I; 2 – прогиб от колеса II; 3 – суммарный прогиб от двух колес

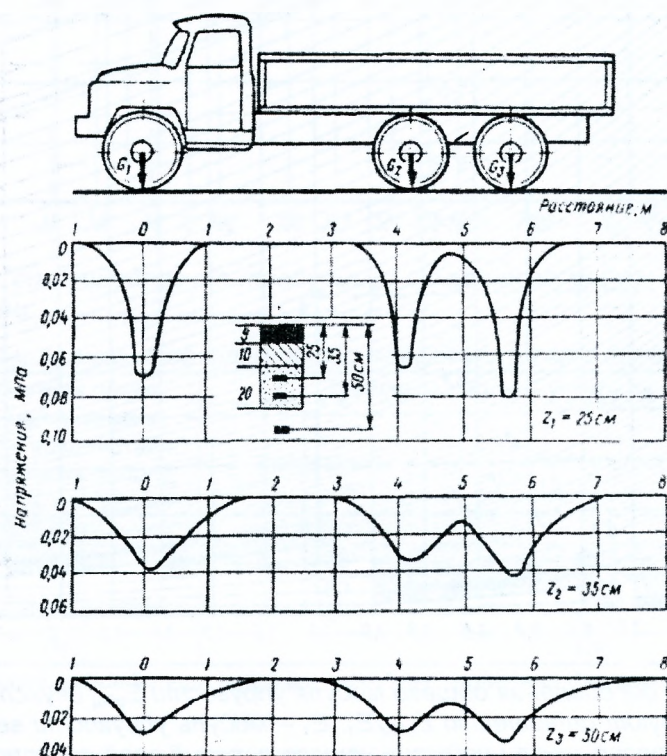


Рис. 14.10. Эпюра вертикальных напряжений в песчаном подстилающем слое на глубине 25, 35 и 50 см в грунте под асфальтобетонным покрытием на цементогрунтовой основе при проезде автомобиля КраЗ-255Б со скоростью 50 км/ч

Как видно из предыдущего изложения, последовательность расположения конструктивных слоев и *толщина некоторых из них* при расчетах дорожных одежд *назначаются проектировщиком*. Поэтому определяемые расчетом толщины остальных слоев в какой-то степени зависят от удачности этих решений.

14.4. Расчет нежестких дорожных одежд по сдвигу

Прочность дорожной одежды по сдвигу обеспечена при условии

$$T \leq T_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (14.9)$$

где T – активное напряжение сдвига, Па; $T_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение сдвига, обусловленное сцеплением в грунте или материале, Па; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прочности (табл. 14.4).

Последовательность расчета на прочность по сдвигу следующая:

1. Активное напряжение сдвига в грунте и слоях малосвязных материалов (песчаный, гравийный материал) зависит от активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_{ам}$ и от веса вышележащих слоев $\tau_{ос}$

$$T = \tau_{ам} + \tau_{ос} \quad (14.10)$$

Наиболее неблагоприятные условия работы грунта и малосвязных материалов на сдвиг возникают при высокой положительной температуре покрытия, наблюдаемой в период большего ослабления дорожной одежды (обычно весной). Это связано со снижением жесткости и распределяющей способности слоев, содержащих органическое вяжущее. В Инструкции ВСН 46-83 рекомендована расчетная температура 20°C.

2. Многослойную конструкцию, лежащую выше слоя, в котором определяют напряжение сдвига, заменяют однослойной и вычисляют средний модуль упругости $E_{ср}$

$$E_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (14.11)$$

где E_i – модуль упругости, Па; h_i – толщина i -го слоя, м; n – число слоев.

При расчете на воздействие движущихся нагрузок в формулу (14.11) подставляют значения модулей упругости, соответствующие продолжительности действия нагрузки 0,1 с, а при расчете на действие стоящего автомобиля – значения модулей упругости, соответствующие длительному действию нагрузки (не менее 10 мин).

Таким образом, многослойную дорожную одежду приводят к двухслойной, имеющей толщину слоя $\sum_{i=1}^n h_i$.

3. Определив отношения $E_1/E_2 = E_{ср}/E_2$ (где E_2 – модуль упругости грунта земляного полотна или модуль упругости на поверхности слоя из малосвязных материалов, для которого определяют прочность на сдвиг) и $h/D = \left(\sum_{i=1}^n h_i\right)/D$, а также φ (угол внутреннего трения грунта или малосвязного материала), по номограмме на рис. 14.11 находят отношение (ключ для пользования номограммами показан прерывистыми линиями) и вычисляют $\tau_{ам}$. В процессе расчета диаметр следа колеса D и модуль упругости грунта либо малосвязного материала принимают в соответствии с характером воздействия нагрузки (подвижный автомобиль или движущийся).

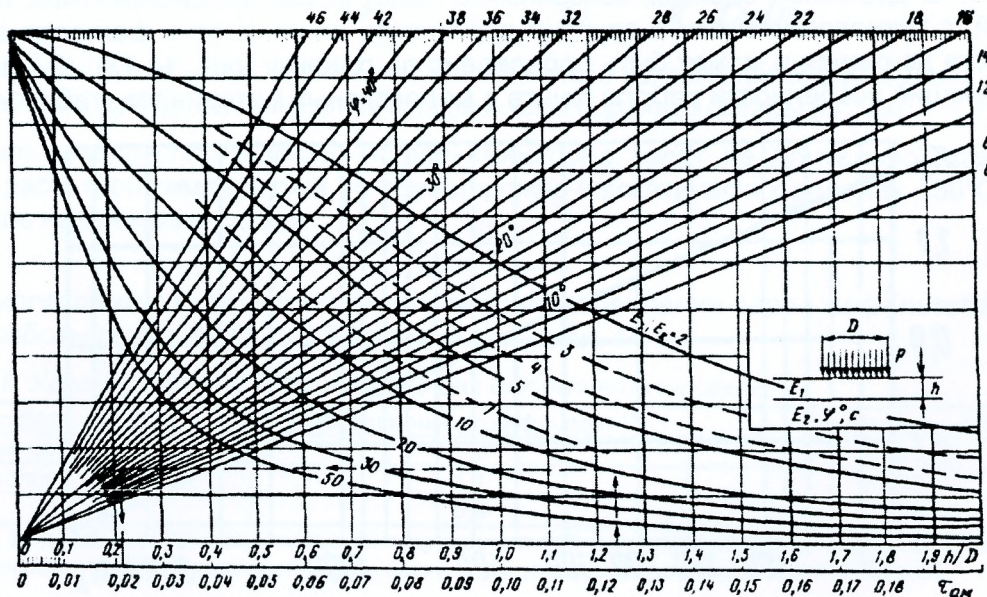


Рис. 14.11. Номограмма для определения активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_{ам}$ в нижнем слое двухслойной системы: p – среднее расчетное удельное давление от колеса

4. По общей толщине вышележащих слоев $\sum_{i=1}^n h_i$ и углу внутреннего трения φ определяют активное напряжение сдвига от веса вышележащих слоев $\tau_{ав}$ (рис. 14.12).

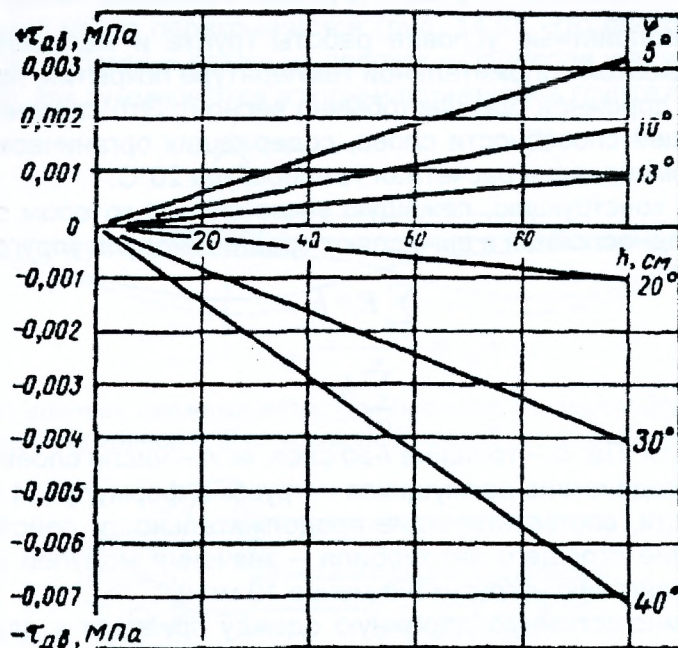


Рис. 14.12. График для определения активных напряжений сдвига от веса вышележащих слоев $\tau_{ав}$

5. Вычисляют активное напряжение сдвига T по формуле (14.10). При этом значение $\tau_{ав}$ подставляют с тем знаком, с каким оно получено по графику (см. рис. 14.12).

6. Рассчитывают допускаемое напряжение сдвига $T_{доп}$

$$T_{доп} = c \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (14.12)$$

где c – сцепление в грунте активной зоны земляного полотна в расчетный период или в материале малосвязного слоя, Па; K_1 – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта или малосвязного материала сдвигу под агрессивным воздействием подвижных нагрузок, колебаний и т. п. (0,6 при расчете на действие движущихся автомобилей, 0,9 при расчете на действие неподвижной нагрузки); K_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды, связанный с недоучетом неблагоприятных природных воздействий, с технологическими и другими причинами; влияние этих факторов зависит от интенсивности движения и может быть определено по графику (рис. 14.13); K_3 – коэффициент, учитывающий особенности работы грунта и малосвязных материалов (табл. 14.7).

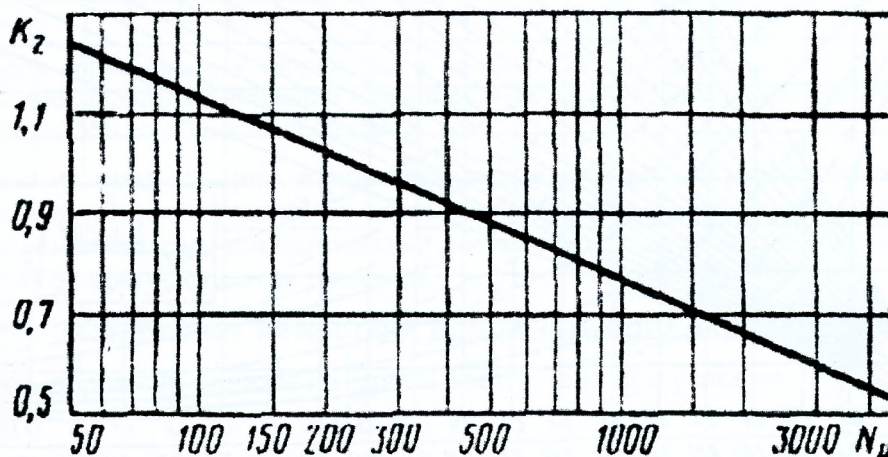


Рис. 14.13. График для определения коэффициента запаса K_2 для грунтов и зернистых материалов, рассчитываемых по сдвигу от расчетной интенсивности движения N_p

Таблица 14.7. Коэффициент K_3 для различных грунтов земляного полотна

Грунты	Значение K_3
Связные (глины, суглинки, супеси, кроме крупной)	1,5
Пески пылеватые, супеси крупные	3,0
Пески мелкие	5,0
Пески средней крупности	6,0
Пески крупные	7,0

7. Проверяют обеспечение условия (14.9). Если оно не обеспечено, то необходимо:

- увеличение толщины одного или нескольких вышележащих слоев;
- замена материалов одного или нескольких слоев более жестким материалом, имеющим более высокий модуль упругости;
- замена либо укрепление грунта или малосвязного материала с целью повышения их сдвигоустойчивости.

Для уменьшения количества попыток при корректировке дорожной одежды удобно использовать график (рис. 14.14).

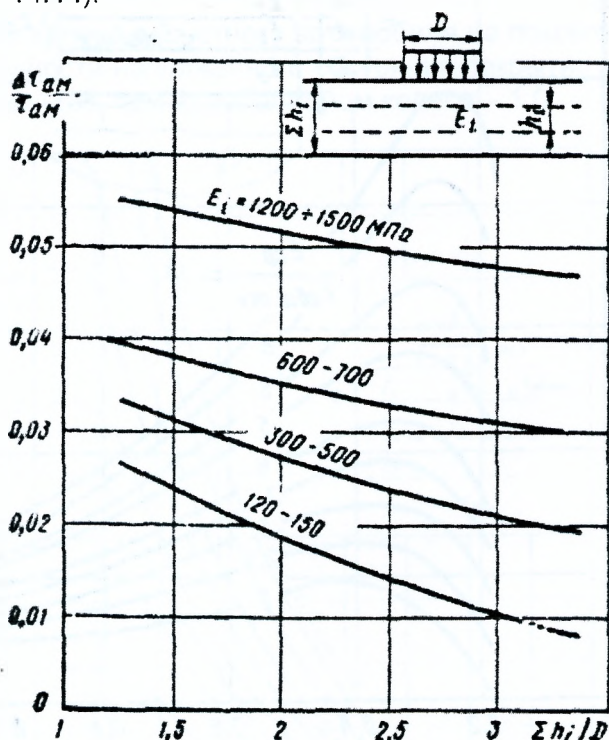


Рис. 14.14. График относительного изменения активного напряжения сдвига в нижележащем полупространстве $\Delta\tau_{ам}/\tau_{ам}$ при изменении толщины слоя дорожной одежды на 1 см

Расчет сдвигоустойчивости асфальтобетона ведут на длительное действие нагрузки при расчетной температуре во всех дорожно-климатических районах $+50^\circ\text{C}$. Допустимое активное напряжение сдвига

$$T_{дон} = K \cdot c, \quad (14.13)$$

где K – комплексный коэффициент, учитывающий зацепление зерен асфальтобетона и условия его работы (табл. 14.8); c – сцепление (см. табл. 14.8).

Таблица 14.8. Характеристики асфальтобетона для расчета на сдвиг

Асфальтобетонная смесь	Комплексный коэффициент K	Сцепление c , МПа
Крупнозернистая	1,6	0,30/0,27
Мелкозернистая	1,1	0,20/0,17
Песчаная	0,9	0,15/0,13

Примечание. В числителе дано сцепление для горячих смесей, в знаменателе – для теплых. Если асфальтобетон изготовлен с применением дробленого песка, то сцепление нужно увеличить в 1,2 раза.

Порядок расчета асфальтобетона на сдвиг:

1) вычисляют средний модуль упругости его слоен $E_{ср\ асф.}$ по формуле (14.11);

2) определяют общий модуль упругости на поверхности нижележащих слоев $E_{общ.осн.}$, используя номограмму (см. рис. 14.8), и вычисляют отношения $E_{ср асф.}/E_{общ.осн.}$ и $\sum h_i/D$ ($\sum h_i$ – суммарная толщина слоев из асфальтобетона);

3) по номограмме (рис. 14.15) определяют активное напряжение сдвига от единичной нагрузки τ/p ;

4) умножая это отношение на среднее давление от колеса расчетного автомобиля на покрытие p (см. табл. 14.1), определяют активное напряжение сдвига T . Если отношение $E_{ср асф.}/E_{общ.осн.} < 2$, то расчеты ведут для $E_{ср асф.}/E_{общ.осн.} = 2$;

5) определив значение $T_{доп}$ по формуле (14.13), устанавливают соблюдение условия (14.9). Если это условие не обеспечено, необходимо заменить материал верхнего слоя на более сдвигоустойчивый или изменить конструкцию дорожной одежды с целью снижения активного напряжения сдвига T .

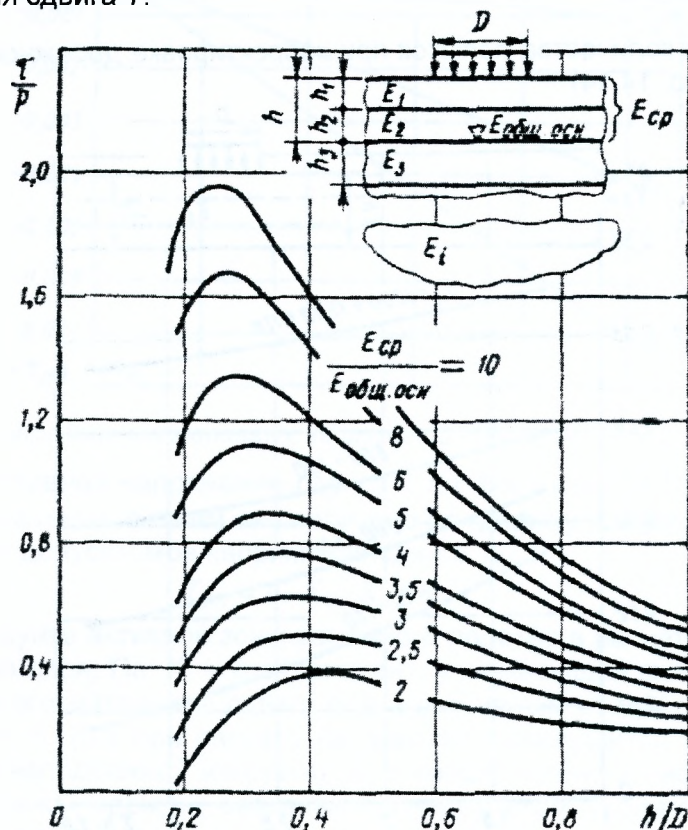


Рис. 14.15. Номограмма для определения активных напряжений сдвига в слое асфальтобетона

14.5. Расчет нежестких дорожных одежд на растяжение при изгибе

При расчете нежестких дорожных одежд на растяжение при изгибе монолитных слоев встречаются два характерных случая:

А. Монолитный слой или несколько смежных слоев из однотипных монолитных материалов находятся в верхней части дорожной одежды – это асфальтобетонные и подобные им покрытия, асфальтобетонные основания, расположенные непосредственно под асфальтобетонным покрытием.

Б. Монолитный слой расположен в толще дорожной одежды – различного рода монолитные основания.

В монолитных слоях дорожной одежды (из асфальтобетона, дегтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими) возникающие при прогибе одежды напряжения под действием повторных кратковременных нагрузок не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин, т.е. должно быть обеспечено условие

$$K_{np} \leq \frac{R_{доп}}{\sigma_r}, \quad (14.14)$$

где $K_{пр}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданного уровня надежности (таблица 14.4); $R_{доп}$ – предельное допустимое растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений, МПа; σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом, МПа.

А. Порядок проведения расчета:

1) вычисляют h_1/D при однослойном покрытии или $\sum h_i/D$ (асфальтобетонное покрытие на основании из асфальтобетонных слоев), а затем по формуле (14.11) находят средний модуль упругости пакета слоев из асфальтового бетона;

2) находят с помощью номограммы (см. рис. 14.8) общий модуль упругости $E_{общ.осн.}$ на поверхности слоя, подстилающего слой, в котором определяют растягивающие напряжения;

3) вычислив отношения $E_1/E_{общ.осн.}$ или $E_{ср}/E_{общ.осн.}$ и h_1/D или $\sum h_i/D$, по номограмме (рис. 14.16) находят удельное растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ от единичной нагрузки в верхнем слое и определяют полное растягивающее напряжение в МПа

$$\sigma_r = p \cdot \bar{\sigma}_r \cdot K_\delta, \quad (14.15)$$

где p – среднее давление колеса расчетного автомобиля на покрытие, МПа; K_δ – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия под колесом автомобиля со спаренными баллонами 0,85, при однобаллонном колесе – 1,0;

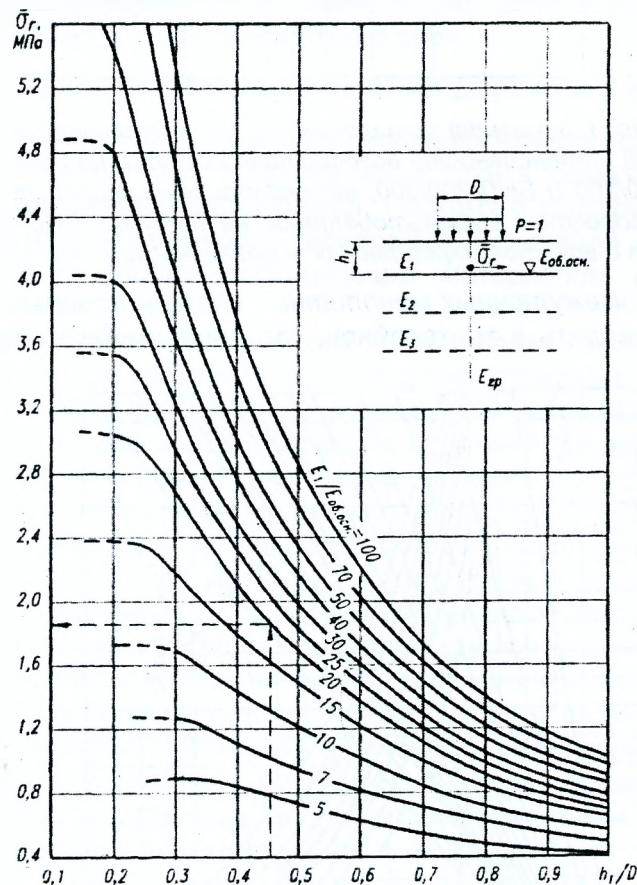


Рис. 14.16. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ при изгибе от единичной нагрузки в верхнем монолитном слое

4) допустимое растягивающее напряжение при изгибе асфальтобетона

$$R_{доп} = \bar{R}_H \cdot (1 - t \cdot C_v) \cdot K_y \cdot K_m, \quad (14.16)$$

где \bar{R}_H – среднее расчетное сопротивление растяжению при изгибе, МПа; (см. главу 13); t – коэффициент нормированного отклонения \bar{R}_H , принимаемый в зависимости от уровня проектной надежности K_H конструкции дорожной одежды (для $K_H = 0,60; 0,85; 0,90; 0,95$, $t = 0,26; 1,06; 1,32; 1,71$); C_v – коэффициент вариации прочности на растяжение при изгибе асфальтобетона, равный 0,1; K_y – коэффициент усталости, учитывающий повторность нагружения

от расчетной приведенной интенсивности движения на полосу, определяемый по графику (рис. 14.17); K_m – коэффициент снижения прочности от воздействия природно-климатических факторов (для асфальтобетона I-II марок на щебне изверженных пород $K_m = 1,0$ и III марки – 0,8; для смесей на щебне осадочных пород и гравийных материалов I марки $K_m = 0,9$ и II-III марок – 0,7);

5) затем проверяют обеспечение условия (14.14). Если это условие не обеспечено, необходимо корректировать толщину монолитного слоя.

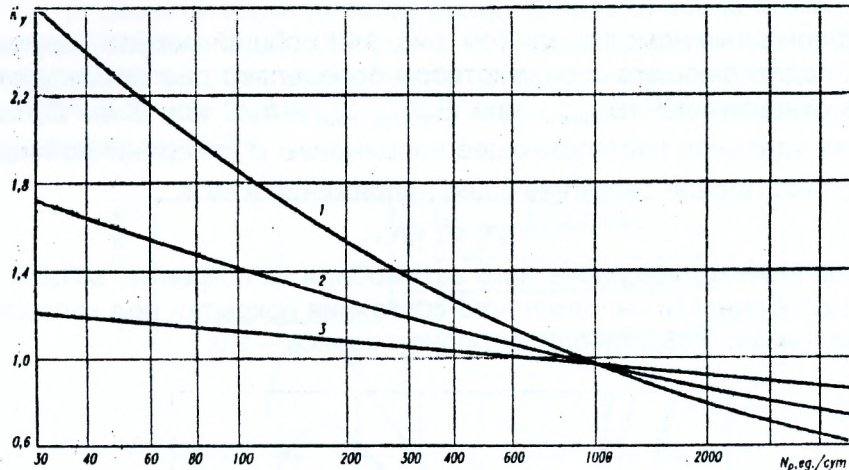


Рис. 14.17. Зависимость коэффициента усталости K_f , учитывающего повторность нагружения от расчетной приведенной интенсивности воздействия нагрузки на полосу: 1 – для асфальтобетона на битумах БНД-130/200 и БНД-200/300, высокопористых асфальтобетонов и дегтебетонов; 2 – для плотных и пористых асфальтобетонов на битумах БНД-40/60, БНД-60/90 и БНД-90/130; 3 – для материалов и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими

Б. При расчетах промежуточных монолитных слоев многослойную конструкцию предварительно следует приводить к трехслойной, где средним будет рассчитываемый монолитный слой.

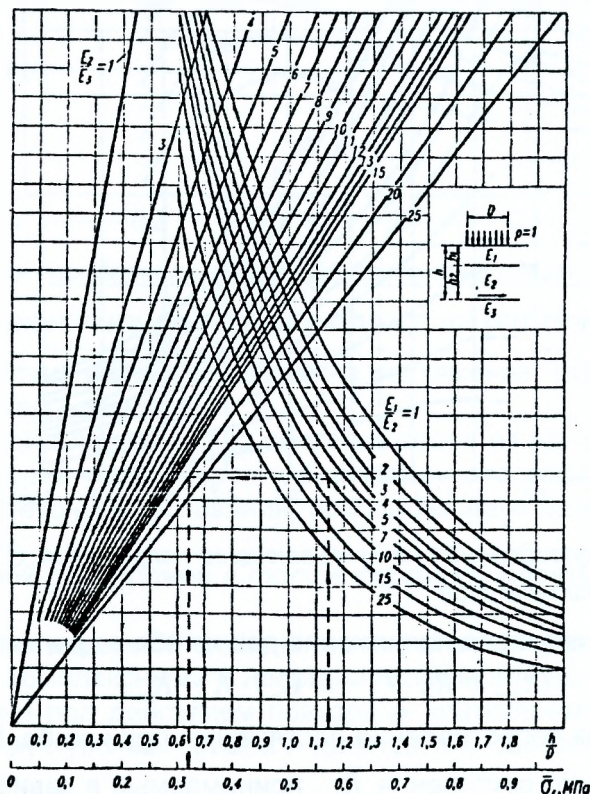


Рис. 14.18. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}$, в промежуточном монолитном слое дорожной одежды

Промежуточные монолитные слои целесообразно рассчитывать в такой последовательности:

1) вначале по формуле (14.11) вычисляют средний модуль упругости конструктивных слоев, лежащих выше рассчитываемого монолитного слоя (см. слой h_2 на рис. 14.18);

2) слои, подстилающие монолитный слой, приводят к эквивалентному по жесткости однородному полупространству с модулем упругости E_3 , который можно получить путем последовательного вычисления общих модулей каждой пары смежных слоев по номограмме (рис. 14.8);

3) затем по номограмме (рис. 14.18) находят растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в рассчитываемом слое от единичной нагрузки, действующей на поверхности покрытия. Для этого из точки на верхней горизонтальной оси, соответствующей отношению $\sum h_i / D$, следует провести вертикаль до кривой с известным отношением E_1/E_2 , а из точки пересечения провести горизонтальную прямую до луча, соответствующего отношению E_2/E_3 , откуда опустить вертикаль на нижнюю горизонтальную ось, где найти значение $\bar{\sigma}_r$. Расчетное значение σ_r нужно найти по формуле (14.15) при $K_\delta=1,0$.

4) допустимое растягивающее напряжение при изгибе асфальтобетона определяют по формуле (14.16);

5) затем проверяют обеспечение условия (14.14). Если это условие не обеспечено, необходимо корректировать толщину монолитного слоя.

14.6. Проектирование осушения дорожных одежд

При проезде автомобилей по покрытию в переувлажненном подстилающем грунте возникают гидродинамические напоры, сопротивление грунта сдвигу снижается, что может явиться причиной разрушения дорожных одежд. Поэтому в конструкции дорожной одежды должна быть предусмотрена возможность своевременного отвода выделившейся воды через дренирующие слои из хорошо фильтрующих материалов, имеющих коэффициент фильтрации не менее 1 м/сут.

Методика расчета толщины дренирующих слоев исходит из наиболее сложного *весеннего периода* их работы, когда основание под серединой проезжей части оттаяло, а у краев еще находится в мерзлом состоянии, и водоотводные устройства не работают.

Количество воды, поступающей в основание дорожной одежды в период оттаивания, складывается из воды, выделяющейся при оттаивании грунта под проезжей частью и обочинами, а также воды, просачивающейся в поверхностные слои грунта через трещины и швы покрытия и обочины во время весенних дождей. Скорость оттаивания грунта земляного полотна под проезжей частью может достигать 5 см в день. Скорость оттаивания обочин меньше и составляет в среднем 3 см. Конструкция дренирующего слоя должна обеспечить размещение в порах песка всей воды, накапливающейся за этот период.

Оттаявший грунт земляного полотна может удержать количество воды, равное примерно 0,75 от влажности границы текучести. Поэтому избыток выделившейся воды отжимается вверх в песчаное основание. Поскольку трудно установить количество воды, выделяющейся на каждом конкретном участке и поступающей через дорожную одежду и обочины, при расчетах пользуются установленными из наблюдений средними значениями суммарного среднесуточного притока воды в основание q (табл. 14.9).

Таблица 14.9. Значения суммарного среднесуточного притока воды в основание

Дорожно-климатический район	Объем воды, поступающей в основание q , л/(м ² ·сут)			
	супесь легкая непылеватая, песок пылеватый	суглинок непылеватый, глины	суглинок пылеватый	супесь пылеватая
1	5,0	6,0	8,0	9,0
2	4,6	5,6	7,5	8,5
3	4,2	5,2	7,0	8,0

Примечания. 1. При наличии в дорожной одежде основания из монолитных материалов (цементогрунтов, битумоминеральных материалов и других) объем воды, поступающей в основание, следует уменьшить на 10%. 2. При обеспечении водонепроницаемости обочин необходимо уменьшить q на 20%. 3. На участках перелома продольного профиля при встречных уклонах следует увеличить величину q на 20%.

На начальном этапе проектирования дорожной одежды толщину песчаного основания назначают конструктивно или по соображениям морозоустойчивости. Затем ее проверяют на размещение в порах воды, поступающей за период от начала оттаивания до начала работы отводящих дренажных устройств, и на возможность ее отвода через песчаный слой. При этом следует учитывать, что полное заполнение пор может быть допущено только в нижней части песчаного слоя. В верхней его части песок должен находиться только в состоянии капиллярного водонасыщения, так как иначе при динамических воздействиях проезжающих автомобилей в песчаном слое возможны тиксотропные явления.

Дренарующий слой устраивают на дорогах с земляным полотном, сложенным из пучинистых, сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов в соответствии со СНиП 2.05.02-85. Расчет толщины дренающего слоя проводят с учетом:

- фильтрационных материалов;
- конструкции земляного полотна;
- дорожной одежды;
- категории дороги.

Во всех случаях толщину дренающего слоя следует принимать не менее 0,20 м.

Дренарующий слой устраивают из песка, гравия, щебня, шлака и других зернистых материалов с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут. В случаях, когда земляное полотно сложено из чрезмерно пучинистых грунтов, а также на вогнутых переломах профиля, в выемках и дорогах I категории коэффициент фильтрации дренающего слоя должен быть не менее 2 м/сут.

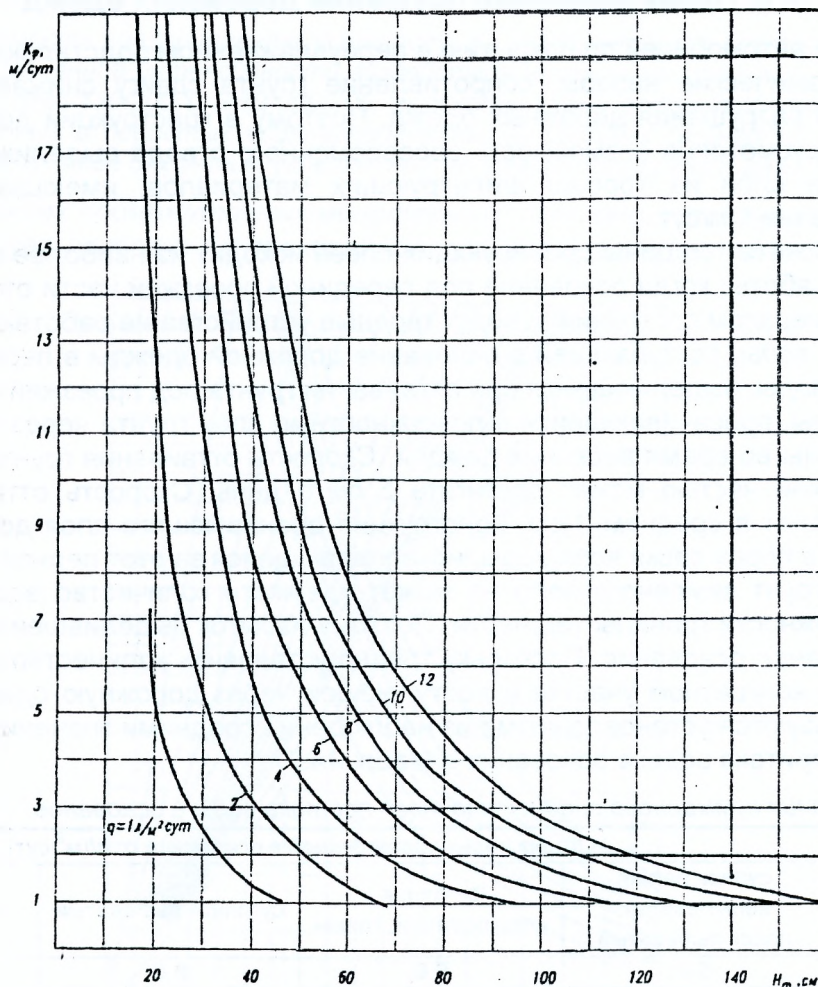


Рис. 14.19. Номограмма для определения толщины H_m в зависимости от коэффициента фильтрации материала дренающего слоя (K_ϕ) и объема воды, поступающей в основание (q)

При устройстве дренающего слоя из каменных материалов необходимо предусматривать устройство противозаиливающих слоев и прослоек из геотекстильных материалов.

Полную толщину дренающего слоя (H) определяют по зависимости

$$H = B \cdot H_m \cdot K_c, \quad (14.17)$$

где B – коэффициент, зависящий от длины фильтрации, для дорог I категории $B=0,8$; для II – 0,5; для III – 0,4; для IV и V – 0,33; H_m – толщина слоя, см, определяемая по номограмме (рис. 14.19) в зависимости от коэффициента фильтрации материала дренирующего слоя (K_f) и объема воды, поступающей в основание (q); K_c – коэффициент, учитывающий снижение фильтрационных свойств материала фильтрующего слоя в процессе эксплуатации дорог ($K_c=1,1$ для сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов, в остальных случаях $K_c = 1,0$).

При проектировании земляного полотна необходимо вывести зону промерзания грунта из зоны капиллярного увлажнения за счет возвышения поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых вод. За расчетный уровень грунтовых вод следует принимать максимальный возможный уровень за период между капитальными ремонтами.

Расчетный уровень грунтовых вод (H_p) по данным разовых измерений его величины в период изыскания дороги определяют на основе статистического метода, который позволяет учесть климатические и грунтово-гидрологические условия района строительства и соответственно

$$H_p = K_0 + K_1 \cdot H_{min} + K_2 \cdot Q_{oc} + K_3 \cdot Q_3, \quad (14.18)$$

где K_0, K_1, K_2, K_3 – коэффициенты корреляции; H_{min} – минимальный осенне-летний уровень грунтовых вод, м; Q_{oc}, Q_3 – суммарное количество осенних и зимних осадков, мм, определяются по табл. 14.10.

Таблица 14.10. Суммарное количество осенних и зимних осадков

Станция	Расчетное количество осадков, мм	
	осенних, Q_{oc}	зимних, Q_3
Полоцк	180	180
Витебск	200	200
Орша	170	180
Вилейка	190	210
Борисов	210	230
Минск	180	240
Лида	160	220
Могилев	180	250
Гродно	180	210
Новогрудок	200	250
Бобруйск	190	240
Барановичи	180	220
Жлобин	160	200
Ивацевичи	190	240
Гомель	150	250
Житковичи	170	230
Пинск	170	180
Брест	180	230
Брагин	180	220

Коэффициенты K_0, K_1, K_2, K_3 вычислены по зависимостям, составленным на основе теории множественной корреляции, и представлены в табл. 14.11. При этом использованы данные о фактическом уровне грунтовых вод, наблюдаемом на характерных участках местности. Таблица составлена из наиболее распространенных в Беларуси видов грунтов (пески, супеси) и глубин залегания грунтовый вод. Для других природно-климатических условий значения коэффициентов K_0, K_1, K_2, K_3 следует вычислять по соответствующим зависимостям с использованием методов математической статистики.

При этом минимальный осенне-летний уровень грунтовых вод определится как

$$H_{min} = H_{min}^{cp} + \alpha \cdot (H_{mp}^{uzm} - H^{cp}), \quad (14.19)$$

где H_{min}^{cp} – среднестатистический минимальный многолетний уровень грунтовых вод, м (табл. 14.12); H_{mp}^{uzm} – уровень грунтовых вод, измеренный на трассе дороги, м; H^{cp} – среднестатистический многолетний уровень грунтовых вод в месяц измерения его на трассе, м (табл. 14.12); α – параметр коэффициента корреляции (табл. 14.12).

Таблица 14.11. Значения коэффициентов K_0, K_1, K_2, K_3

Дорожно-климатический район	Участок	Глубина грунтовых вод в период изыскания, $H_{тр}^{изм}$, м	Значения коэффициентов			
			K_0	K_1	K_2	K_3
1, 2	Междуречье	1-3	0,17	0,57	-0,0010	-0,001
		3-5	1,80	0,70	-0,0080	-0,004
	В пойме рек	0-1	0,62	0,39	0,0000	-0,003
3		1-3	0,67	0,37	-0,0007	-0,004
	Междуречье	1-3	0,41	0,65	-0,0006	-0,004
	В пойме рек	1-3	1,22	0,42	-0,0020	-0,004

Примечания. 1. К пойменным местам следует относить участки местности, где на режим грунтовых вод оказывают влияние близлежащие водоемы (расстояние от крупных рек и озер не более 2 км, мелких – не более 1 км), остальные – к междуречью. 2. При вычислении расчетного уровня грунтовых вод для случая залегания их в период изысканий от 0 до 1 м могут быть получены отрицательные значения. Тогда за расчетный уровень грунтовых вод следует принимать поверхность земли

Таблица 14.12. Значения параметров $H_{мин}^{ср}$, α и $H^{ср}$

ДКР	Участок	$H_{тр}^{изм}$, м	Значения коэффициентов, которые выбирают для проведения изысканий в											
			мае			июне			июле			августе		
			$H_{мин}^{ср}$, м	α	$H^{ср}$, м	$H_{мин}^{ср}$, м	α	$H^{ср}$, м	$H_{мин}^{ср}$, м	α	$H^{ср}$, м	$H_{мин}^{ср}$, м	α	$H^{ср}$, м
3	междуречье	1-3	2,21	0,88	0,58-2,03	2,21	0,87	0,79-2,17	2,21	0,98	1,04-2,31	2,21	0,94	1,11-2,47
		3-5	4,36	0,62	3,00-4,60	4,36	0,72	2,91-4,48	4,36	0,78	3,23-4,75	4,36	0,59	3,30-4,83
	пойма	0-1	0,88	1,10	0,15-0,61	0,88	0,83	0,18-0,86	0,88	0,92	0,33-0,99	0,88	0,83	0,28-1,16
		1-3	1,98	0,83	0,56-2,02	1,98	0,84	0,73-2,05	1,98	0,85	0,95-2,23	1,98	0,88	0,98-2,36
1 и 2	междуречье	1-3	1,96	0,91	0,68-1,86	1,96	0,91	0,83-1,99	1,96	0,98	1,04-2,16	1,96	0,81	1,13-2,31
		3-5	4,34	0,44	3,11-4,33	4,24	0,73	3,27-4,26	4,34	0,72	3,41-4,27	4,34	0,74	3,53-4,47
	пойма	1-3	1,87	0,61	0,47-1,69	1,87	0,73	0,61-1,87	1,87	0,85	0,82-2,12	1,87	0,83	0,96-2,23

Примечание. 1. ДКР – дорожно-климатический район. 2. При подсчете максимального уровня грунтовых вод меньшие значения $H^{ср}$ следует принимать в случае, когда количество осадков в месяц, предшествующий изысканиям, больше нормы не менее, чем на 15-20%, средние – близко к норме и большие значения $H^{ср}$, когда количество осадков меньше нормы не менее, чем на 15-20%. Под нормой подразумевается среднее многолетнее количество осадков, выпавших в определенном месяце для конкретной метеорологической станции.

Статистический метод позволяет определить расчетный уровень грунтовых вод по данным разовых измерений его в период изысканий с точностью 90%.

14.7. Обеспечение морозоустойчивости дорожной одежды

В районах избыточного увлажнения и глубокого зимнего промерзания должна быть обеспечена устойчивость дорожных одежд для всех типов против нарушения ровности при неравномерном вспучивании грунтов земляного полотна.

Проверка не проводится, если земляное полотно на всю глубину промерзания состоит из непучинистых и слабопучинистых грунтов или толщина дорожной одежды превышает 2/3 глубины промерзания.

Процессы зимней миграции влаги приводят к накоплению и замерзанию воды в порах грунта, вызывая неравномерные поднятия покрытия и нарушение его ровности, а в бетонных покрытиях – появление трещин и ступеней между плитами.

При весеннем оттаивании грунта может происходить разрушение покрытия при проездах тяжелых автомобилей. Расчеты дорожных одежд с учетом деформаций вспучивания основаны на теории зимнего влагонакопления в земляном полотне. Определенное расчетом вспучивание грунта земляного полотна и морозозащитного слоя должно быть меньше вспучивания, допускаемого покрытием.

Максимальное, без разрушения неравномерное морозное пучение нежестких дорожных одежд (морозоустойчивость) определяют исходя из простейшего допущения, что вспучившийся участок образует цилиндрическую поверхность.

Расчетную высоту пучения определяют для каждого участка дороги, отличающегося по гидрогеологическим условиям от смежных.

Прочность дорожной одежды под воздействием морозного пучения обеспечивается при условии

$$l_{доп} \geq (l_{пуч} + l_{мз}), \quad (14.20)$$

где допустимое неравномерное вспучивание $l_{доп}$ не должно превышать 0,2-0,6 предельного для дорожной одежды и составляет для различных типов покрытий:

- цементобетонные монолитные – 3 см;
- асфальтобетонные и сборные цементобетонные – 4 см;
- усовершенствованные облегченные – 6 см;
- переходных типов – 10 см;

$l_{пуч}$ – расчетное ожидаемое пучение грунта земляного полотна, см; $l_{мз}$ – то же материалов морозозащитного слоя, см.

Расчет морозоустойчивости выполняют для районов активного сезонного промерзания грунта земляного полотна в неблагоприятных грунтово-геологических и гидрологических условиях. В процессе расчета необходимо принимать во внимание теплотехнические свойства материалов, составляющих слои дорожной одежды, которые могут существенно влиять на глубину промерзания грунта под дорожной одеждой (особенно в случае укладки специальных теплоизолирующих прослоек).

При расчете морозоустойчивости общая приведенная толщина дорожной одежды с учетом теплотехнических свойств материалов

$$z_{прив} = \sum h_i \varepsilon_i, \quad (14.21)$$

где h_i – толщина слоев из морозоустойчивых материалов, м; ε_i – эквивалентные теплотехнические свойства этих материалов.

В условиях избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов, характерных для Беларуси, наряду с обеспечением требуемых прочности и осушения конструкции необходимо, чтобы конструкция была морозоустойчива.

Специальные меры по морозозащите требуются в случае, когда земляное полотно возводится из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов. В этом случае толщина стабильных слоев дорожной одежды из условия морозоустойчивости должна быть не менее значений, приведенных на рис. 14.20, в зависимости от района строительства дороги.

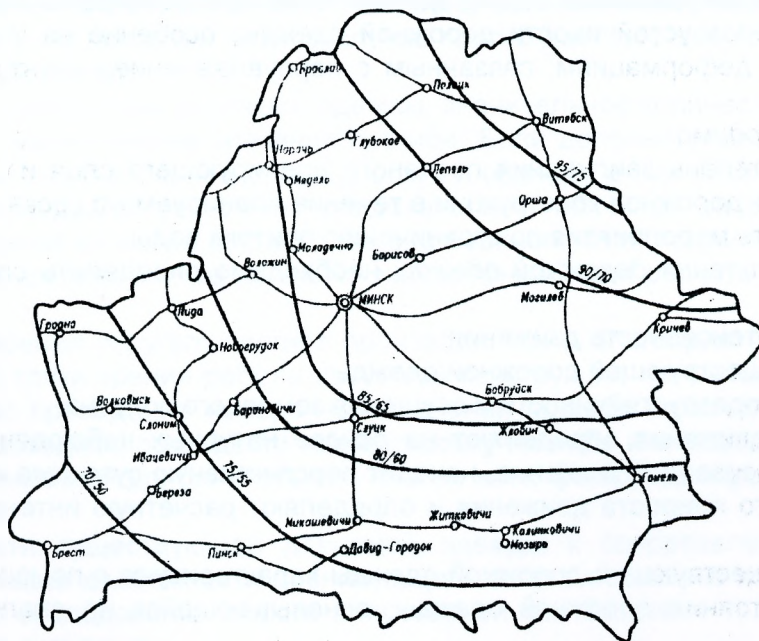


Рис. 14.20. Карта изолиний минимальных допустимых толщин стабильных слоев дорожной конструкции из условий морозоустойчивости при земляном полотне, сложенном из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов (в числителе – для капитальных дорожных одежд, в знаменателе – для облегченных)

Основными мероприятиями, направленными на обеспечение морозоустойчивости конструкции, являются следующие:

- использование непучинистых или слабопучинистых грунтов для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания;
- устройство морозозащитных слоев из стабильных материалов, не изменяющих своего объема при промерзании в увлажненном состоянии, или теплоизоляционных слоев, задерживающих ход и снижающих глубину промерзания земляного полотна;
- применение специальных устройств, предохраняющих земляное полотно от неблагоприятного воздействия отрицательных температур воздуха и источников увлажнения.

14.8. Проектирование усиления дорожной одежды

Решение об усилении дорожной одежды принимают в том случае, когда коэффициент запаса прочности K_{np} , который представляет собой отношение фактического модуля упругости дорожной конструкции $E_{ф}$, определенного по результатам натурных испытаний, к требуемому по условиям движения в процессе эксплуатации $E_{мп}$, меньше значений, указанных в табл. 14.4.

$$K_{np} = E_{ф} / E_{мп}. \quad (14.22)$$

При отсутствии результатов измерений упругого прогиба дорожной одежды усиление необходимо производить на участках дорог с характерными деформациями покрытия, связанными с недостаточной прочностью конструкции, когда предполагается дальнейший рост интенсивности движения и прогрессирующее разрушение дорожной одежды.

Усиление дорожной одежды производят при проведении капитального ремонта, который выполняют с целью улучшения транспортно-эксплуатационных характеристик покрытия и обеспечения безотказной работы конструкции в течение нормативного срока службы. Межремонтные сроки службы нежестких дорожных одежд принимают в соответствии с табл. 14.2.

Критерием назначения капитального ремонта служит такое состояние дорожной одежды, при котором становится невозможным или экономически невыгодным поддерживать транспортно-эксплуатационные показатели покрытия на требуемом уровне путем проведения текущих и средних ремонтов.

В условиях избыточного увлажнения, характерного для территории республики, при проектировании усиления дорожных одежд должны быть предусмотрены меры для обеспечения осушения и морозоустойчивости дорожной одежды, особенно на участках, подверженных характерным деформациям, связанным с переувлажнением грунта земляного полотна.

При этом необходимо:

- установить степень заиливания песчаного дренирующего слоя и пригодность его для осушения дорожной конструкции в течение планируемого срока службы дороги;
- предусмотреть мероприятия по ограничению притока воды.

Для расчета усиления дорожной одежды необходимо определить следующие параметры:

- а) расчетную интенсивность движения;
- б) прочность существующей дорожной одежды;
- в) показатели морозоустойчивости и осушения земляного полотна.

Интенсивность движения определяют на основе натурных наблюдений за участком дороги, на котором производят усиление, находят перспективную суточную интенсивность с учетом среднегодового прироста движения и определяют расчетную интенсивность на полосе движения.

Конструкцию существующей дорожной одежды характеризуют с помощью *общей комплексной оценки* состояния дорожной одежды, основывающейся на анализе следующих факторов:

- конструкции дорожной одежды, состояния конструктивных слоев и их толщин, грунтово-гидрологических условий земляного полотна;
- состояния покрытия, определяемого на основе визуального обследования деформированности;

– измеренного значения упругого прогиба, проведенных работ по ремонту и содержанию участка дороги.

Оценку состояния земляного полотна и дорожной одежды производят в соответствии с рекомендациями Пособия 3.03.01-96 (приложение К), основными результатами которой являются выделение однородных (характерных) участков дороги, протяженность которых должна быть, как правило, не менее 300 м, с определением причин разрушений. За характерный принимался участок дороги, отличающийся от соседних хотя бы одним признаком:

- конструкцией дорожной одежды;
- грунтом земляного полотна;
- технологией устройства дорожной одежды и качеством применявшихся при этом материалов;
- интенсивностью движения, приведенной к расчетному автомобилю;
- состоянием покрытия по видам разрушения.

Проводят испытания и оценку прочности по упругому прогибу. Затем на основании полученных результатов измерений упругого прогиба уточняют границы характерных участков. При этом могут возникнуть *два случая:*

- а) имеет место соответствие между всеми факторами, характеризующими дорожную одежду;
- б) измеренные значения упругого прогиба не согласовываются с остальными факторами.

В первом случае соответствия между всеми факторами толщину слоя усиления определяют, исходя из расчетных значений упругого прогиба, вычисление которого производят путем приведения данных разовых испытаний к расчетному состоянию конструкции с учетом изменяющихся в зависимости от климатических условий свойств грунтов земляного полотна и слоев дорожной одежды.

Если определенные расчетные значения упругого прогиба *не согласовываются с остальными факторами*, необходимо выполнить дополнительный анализ в направлении поиска причин несоответствия, а также при необходимости дополнительную оценку состояния дорожной одежды с проведением повторных измерений упругого прогиба.

Примерами отсутствия согласования между упругим прогибом и остальными факторами, характеризующими дорожную одежду, могут быть следующие:

а) слабая конструкция дорожной одежды, большие величины прогиба и в то же время хорошее состояние покрытия; причина – недавно выполненный ремонт скрывает имевшие место разрушения на покрытии. В этом случае прогиб дает достоверную характеристику состояния дорожной одежды;

б) слабая конструкция дорожной одежды, значительное количество разрушений на покрытии, одновременно низкие значения прогиба. Если дополнительное обследование земляного полотна и неукрепленных слоев дорожной одежды, в том числе дренажного слоя, подтвердили их хорошее состояние, следовательно, причиной разрушений является неудовлетворительное качество асфальтобетона верхнего слоя покрытия, и измеренные значения прогиба в данном случае являются характерными для расчета толщины слоя усиления.

Если измерения упругого прогиба производились в благоприятный по климатическим условиям год (с точки зрения работы дорожной конструкции – в летний сухой период) и не было выполнено приведение измеренных значений прогиба к расчетным величинам, то в этом случае необходимо произвести корректировку прогиба или повторно его измерить. Затем следует произвести дополнительный анализ всех факторов, определяющих работу дорожной одежды.

Способности существующей дорожной одежды к сопротивлению замораживанию-оттаиванию, а также возможности дренажного слоя к осушению конструкции оценивают по материалам обследования дороги с проверкой соответствия толщины дренажного слоя требуемым значениям.

При выборе типа покрытия и назначения слоев усиления необходимо, чтобы капитальность нового покрытия была не менее, чем у существующего. Материал покрытия должен обеспечивать требуемую шероховатость и устойчивость от сдвигов при высоких положительных температурах. При этом следует учитывать характер разрушений, возникших на

существующем покрытии, а также влияние свойств этого покрытия на работу конструкции после усиления дорожной одежды.

При конструировании усиления существующей дорожной одежды необходимо руководствоваться следующими принципами:

– тип покрытия, конструкции одежды должны удовлетворять транспортно- эксплуатационным требованиям;

– при назначении конструкции и материалов слоев усиления необходимо учитывать предыдущий опыт службы дорожной одежды за период эксплуатации дороги, которая будет подвергаться воздействию практически тех же природно-климатических условий и нагрузки;

– конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации и индустриализации работ;

– при назначении усиления следует учитывать региональный опыт строительства и эксплуатации дорог, работы конкретных материалов в рассматриваемом районе;

– необходимо стремиться к снижению материалоемкости дорожной одежды;

– следует отдавать предпочтение современным способам производства работ и материалам (регенерация, фрезерование, армирование, геотекстиль, сетки и др.);

– при назначении конструкции усиления следует стремиться устранить причины возникновения разрушений на существующем покрытии;

– при проектировании усиления дорожной одежды необходимо учитывать результаты научных и опытно-экспериментальных работ.

Выбор конструкции для ремонта существующей дорожной одежды осуществляют в зависимости от фактического состояния участков дорог, подверженных разрушению.

Следует применять следующие **основные способы усиления дорожной одежды**:

1) укладка нового слоя из асфальтобетонной смеси поверх старой дорожной одежды:

а) без выравнивания существующего покрытия;

б) с устройством выравнивающего слоя;

в) с выравниванием существующего покрытия способом термопрофилирования;

г) с выравниванием существующего покрытия способом фрезерования;

2) улучшение свойств существующего покрытия или замена асфальтобетонных слоев с сохранением основания:

а) улучшение свойств асфальтобетонного покрытия по полосам наката и другим местам разрушений способом регенерации и армирования;

б) улучшение свойств асфальтобетонного покрытия способом регенерации и армирования по всей ширине покрытия;

в) замена асфальтобетонных слоев;

3) полная замена всей конструкции:

а) замена дорожной одежды и верхних слоев земляного полотна;

б) замена дорожной одежды.

Первый способ по сравнению с другими требует меньших первоначальных затрат, однако применять его следует, как правило, когда недостаточная прочность дорожной одежды или ровность покрытия связаны с частичной потерей прочности материалов и слоев покрытия и коэффициент запаса прочности $K_{пр} > 0,80$.

Наиболее экономичной технологией ремонта асфальтобетонных покрытий является технология, основанная на принципах регенерации (восстановления утраченных свойств). К этому типу технологий относятся способы 1в и 1г, в соответствии с которыми регенерацию выполняют на месте проведения работ или на базе по выпуску асфальтобетонных смесей.

Способ, основанный на улучшении свойств существующего покрытия или замене асфальтобетонных слоев с сохранением основания (2а, 2б, 2в) применяют в случаях, когда на существующем покрытии имеется большое количество разрушений в виде сетки трещин, выбоин и проломов, связанных со значительной потерей несущей способности конструкции ($0,80 > K_{пр} > 0,7$). Кроме того, этот способ целесообразно применять в тех местах, где нельзя увеличивать толщину дорожной одежды. Для обеспечения требуемой несущей способности конструкции при минимальных затратах следует применять армирующие прослойки из специальных сеток.

Замена всей дорожной одежды, а также верхних слоев земляного полотна необходима, как правило, при низкой несущей способности существующей конструкции ($K_{пр} < 0,7$), обу-

словленной переувлажнением земляного полотна и неукрепленных слоев оснований. Этот способ (За, Зб) применяют в крайних случаях, когда не удается устранить источники увлажнения без снятия дорожной одежды, когда дорожная одежда полностью разрушена и ее использование неэффективно или увеличение толщины конструкции нецелесообразно.

В неблагоприятных природно-климатических условиях, когда основное увлажнение происходит от уровня грунтовых вод, в отдельных случаях целесообразно старую конструкцию оставить в теле насыпи, что будет способствовать улучшению водно-теплового режима верхних слоев земляного полотна и дорожной одежды. На основе технико-экономического сравнения сопоставляют этот вариант с разбором старой одежды, и после переработки с использованием в новой конструкции.

Армирующие прослойки, которые устраивают из сеток и геотекстильных материалов, следует применять в тех случаях, когда необходимо снизить напряжения в нижележащих слоях дорожной одежды или земляном полотне. За счет устройства армирующих прослоек толщина слоев усиления может быть уменьшена на 10-25%.

Трещинопрерывающие прослойки необходимо предусматривать с целью предупреждения проникания трещин, которые имеют место на старом асфальтобетонном покрытии, на поверхность слоев усиления. В качестве трещинопрерывающих прослоек могут быть использованы стекло сетки, органоминеральные композиции с добавками полимерных материалов.

При проектировании слоев усиления дорожной одежды по результатам обследования могут возникнуть следующие случаи:

– по результатам оценки прочности дорожной одежды коэффициент прочности ($K_{пр}$) меньше нормативного;

– коэффициент прочности дорожной одежды, вычисленный по зависимости (14.22), больше или равен требуемым значениям, однако на покрытии имеют место разрушения, обусловленные недостаточной долговечностью и низким качеством материалов отдельных слоев;

– отсутствуют данные о прогибах существующей дорожной одежды, покрытие подвержено разрушениям, связанным с недостаточной несущей способностью дорожной конструкции.

В первом случае расчет толщины усиления ведут по величине измеренного упругого прогиба, рассматривая дорожную одежду как линейно деформируемую систему. Для этого устанавливают расчетную суточную интенсивность на полосу движения, а по графику (см. рис. 14.7) находят требуемый модуль упругости конструкции. Затем вычисляют фактический модуль упругости конструкции $E_{ф}$, МПа

$$E_{ф} = 0,36 \cdot Q_{к} / l_{р}, \quad (14.23)$$

где $Q_{к}$ – нагрузка на колесо применяемого для испытаний автомобиля, кН; $l_{р}$ – расчетный упругий прогиб конструкции, определяемый по результатам фактических измерений.

Расчет мощности слоя усиления производят по номограмме (см. рис. 14.8). Назначают модули упругости слоев усиления E_1 , затем рассчитывают соотношение $E_{ф}/E_1$ на оси ординат и проводят горизонталь до пересечения с наклонной линией, характеризующей соотношением $E_{мп}/E_1$. Из точки пересечения опускают вертикаль до пересечения с осью абсцисс и находят отношение h/D . Приняв расчетный диаметр в соответствии с таблицей 14.1, определяют толщину слоя усиления.

Если по расчету необходимо устройство однослойного покрытия и толщина слоя усиления, полученная расчетом меньше половины минимально допустимых толщин, то достаточно провести после ямочного ремонта поверхностную обработку существующего покрытия. При толщине слоя усиления, полученного с использованием номограммы (см. рис. 14.8), больше половины указанных толщин, необходимо принять толщину слоя усиления равной минимальным величинам.

В случае, когда коэффициент прочности дорожной одежды больше или равен нормативным значениям, однако на покрытии имеют место разрушения, обусловленные недостаточной долговечностью и низкими свойствами материалов отдельных слоев дорожной одежды, необходимо, прежде всего, выяснить причины разрушений и установить какие материалы или их свойства не удовлетворяют требованиям. Затем принимают решения о том, следует ли полностью заменить нарушающий работу конструкции слой, улучшить его свой-

ства или оставить этот слой без изменений, но усилить дорожную одежду таким образом, чтобы уменьшить напряжения в ослабленном конструктивном элементе. Толщина вновь укладываемого слоя должна быть не меньше, чем толщина слоя с неудовлетворительными свойствами, нуждающегося в замене.

Если нет достоверных данных о прогибах существующей одежды, то допускается проектировать слои усиления на основе материалов обследования дороги, содержащих результаты измерения толщин всех конструктивных слоев одежды, характеристику их состояния и качества, сведения о виде грунта земляного полотна и об условиях его увлажнения.

В этом случае толшины слоев усиления одежды следует назначать на основе расчета по упругому прогибу всей конструкции, сопротивлению растяжению при изгибе слоев старой и новой частей дорожной одежды.

14.9. Обследование дорожных одежд

Работы по обследованию дорожных одежд следует производить в три этапа:

- подготовка к обследованию;
- предварительное обследование;
- детальное обследование.

Подготовка к обследованию предполагает сбор всех необходимых данных, относящихся к ремонтируемому или реконструируемому участку дороги и климатическим характеристикам.

Предварительное обследование на дорогах выполняют с целью определения фактической степени деформирования покрытия, установления вероятных причин возникновения повреждений и назначении границ характерных участков.

При *детальном обследовании* осуществляют натурные и лабораторные испытания дорожных конструкций на характерных участках, материалов отдельных слоев и грунтов земляного полотна.

Предварительное обследование дороги допускается не производить в том случае, когда в задании на проектирование капитального ремонта дороги представлены все необходимые сведения о состоянии отдельных участков дороги по данным эксплуатационной организации.

При *подготовке к проведению обследования* существующих автомобильных дорог необходимо на основе анализа проектных материалов, а также данных, имеющихся в эксплуатационных организациях (паспорта и линейные графики, сведения о выполненных работах по ремонту дороги и наблюдениях за пучинообразованием, банк данных, инвентаризационные и дефектные ведомости), оценить техническое состояние дороги, дорожных сооружений и существующего на дороге движения. Одновременно необходимо произвести опрос инженерных и линейных работников эксплуатационной службы о работе отдельных участков дороги и сооружений на ней. *Результатом этих работ* должна быть документация в виде заверенных выписок из соответствующих документов.

На стадии подготовки к обследованию дороги следует выбрать все необходимые климатические характеристики по данным ближайшей к дороге метеорологической станции.

Вид и количество разрушений на дорожном покрытии устанавливаются на основе визуальной оценки. Все разрушения, обнаруженные на покрытии, подразделяют на типы в соответствии с их характером и наиболее вероятными причинами возникновения.

Если вероятность появления разрушений не превышает $P < 0,3$ (в 3-х случаях из 10 могут возникнуть разрушения), то принято, что они возможны; в случае, когда $0,3 < P < 0,6$, то разрушения вероятны; при $P > 0,6$ – разрушения реальные.

Необходимо отметить, что некоторые признаки внешнего состояния покрытия (например, сетка трещин, взбугривание, колейность) полностью можно установить только в наиболее неблагоприятный для работы конструкции период (весна) в расчетный или близкий к нему по климатическим условиям год. Поэтому полную информацию целесообразно получать из банка данных, собранных эксплуатационными организациями за весь срок службы дороги. Все наиболее распространенные типы разрушений введены в каталог разрушений дорожных одежд нежесткого типа (Пособие 3.03.01-96, таблица К 2).

После установления типов разрушений и причин их появления приступают к решению вопроса о выделении характерных участков и определению их границ.

При выделении характерных участков по наличию разрушений на основе визуальной оценки следует иметь в виду необходимость уточнения их границ при проведении испытаний на прочность и детальном обследовании.

В отдельных случаях, когда на обследуемых участках покрытия имеют место несколько видов разрушений с небольшими зонами распространения, возникают трудности с описанием состояния участков по виду разрушений и выделением их границ. В этом случае необходимо давать комплексное описание состояния покрытия с выделением того вида разрушений, который наиболее характерен для рассматриваемого участка и в большей степени влияет на транспортно-эксплуатационные показатели дороги. При описании состояния покрытия выделяются разрушения, являющиеся результатом слабой несущей способности конструкции. Учитывая определенную сложность в оценке причин возникновения разрушений и выделении характерных участков в визуальном обследовании, необходимо участие опытного специалиста, владеющего вопросами, связанными с работой дорожных конструкций.

Выделение границ характерных участков дороги производят на основе анализа документальных данных о дороге (проектных и эксплуатационных) и результатов визуальной оценки состояния проезжей части с помощью специально составленной сводной ведомости.

Детальное обследование дороги включает:

- определение ширины и поперечных уклонов проезжей части и обочин, толщины слоев дорожной одежды;
- оценку ровности покрытия;
- определение расчетного уровня грунтовых вод;
- отбор образцов материалов и их лабораторные испытания;
- оценку прочности дорожной одежды.

Ширину проезжей части измеряют на каждом характерном участке дороги, но не реже, чем одно измерение на 1 км.

При определении ширины проезжей части дороги следует иметь в виду, что при гравийных покрытиях, вследствие постепенного смещения части материала покрытия на обочину или вследствие того, что края дорожной одежды покрыты слоем грунта, точно установить ширину покрытия затруднительно. Для более правильного определения ширины покрытия прорывают поперечные ровики длиной не менее 1 м, шириной 0,2-0,25 м.

Измерение поперечных уклонов проезжей части и обочин производят на каждом характерном участке. При этом на деформированных участках дорог оценивают не менее двух поперечников. Для определения поперечных уклонов используют различные приборы, в том числе угломерные линейки (типа КП-135), а также метод нивелирования.

На каждом поперечнике характерных участков дорог на внешней полосе наката на расстоянии 1 м от кромки проезжей части производят вскрытие дорожной одежды. Размер лунки должен быть диаметром 20-30 см. При вскрытии определяют тип, толщину и состояние подстилающего грунта, уровень грунтовых вод и верховодки при наличии их в пределах 2 м от поверхности покрытия, а также глубины промерзания, оттаивания.

За расчетный уровень грунтовых вод следует принимать наивысший возможный уровень, который может быть зафиксирован в данной местности.

Одновременно со вскрытием дорожной одежды отбирают образцы материалов для дальнейшего лабораторного исследования. Вес образцов песка и при необходимости – грунтов земляного полотна должен быть 1-2 кг, гравийных и щебеночных смесей и асфальтобетона – 5-8 кг в зависимости от размера зерен минерального материала. При отборе образцов материалов и грунтов следует исходить из того, что количество образцов, предназначенных для лабораторных испытаний, должно быть исчерпывающим для характеристики работы конструкции и ее состояния.

Для принятия обоснованных решений при проектировании усиления дороги необходимо проведение детальных инженерно-геологических обследований отдельных участков этой дороги с целью получения достоверных данных о состоянии земляного полотна и дорожной одежды, водоотводных и дренажных устройств. Оценка состояния земляного полотна, водоотводных и дренажных устройств производится на основании изучения материалов эксплуатационной службы, визуальных и инструментальных обследований. *В итоге должны быть получены материалы, характеризующие:*

- а) наличие и состояние пучинистых участков и участков дороги с недостаточной несущей способностью грунта земляного полотна;
- б) наличие и состояние водоотводных и дренажных устройств, грунтовые и гидрологические условия местности;
- в) конструкцию земляного полотна и дорожной одежды, толщину, материал и состояние отдельных конструктивных слоев;
- г) прочность дорожной одежды на всем протяжении дороги.

Обследование, как правило, проводят в весенний наиболее неблагоприятный период работы дорожных конструкций.

Обследование *пучинистых участков дороги* заключается в:

- детальном изучении грунтовых и гидрологических условий местности, характера поверхностного стока;
- описании растительного покрова, рельефа местности, поперечного профиля земляного полотна и откосов, состояния работы дренажных устройств;
- установлении границ пучинистых участков, времени повторяемости действия пучин, внешних признаков их проявления, источников увлажнения, применявшихся мер борьбы с пучинами и их эффективности.

При обследовании пучинистых участков особое внимание следует обращать на измерение влажности грунтов земляного полотна по глубине выработки и на установление источников увлажнения грунтов (поверхностные или грунтовые воды). С этой целью из скважин не реже, чем через 0,5 м по глубине, отбирают образцы грунтов для определения естественной влажности.

В результате детального обследования пучинистых участков дорог устанавливают водный режим земляного полотна и дорожной одежды, причины пучинообразования и намечают противопучинные мероприятия.

Протяженность участков дороги с *недостаточной несущей способностью земляного полотна* может быть определена визуально или по состоянию покрытия:

- наличие звездчато размещенных трещин на покрытии свидетельствует о пучении грунтов земляного полотна при их промерзании, значительно превышающем допустимое пучение для данного типа покрытия;
- наличие густой сетки трещин на поверхности покрытия, переходящей на отдельных участках дороги в келейность, просадки и проломы дорожной одежды свидетельствуют о потере несущей способности грунтов земляного полотна за счет весеннего переувлажнения.

Участки с недостаточной несущей способностью грунтов земляного полотна должны быть детально обследованы в весенний период с целью установления причин избыточного увлажнения. *Прежде всего, необходимо установить:*

- источник увлажнения земляного полотна;
- глубину залегания грунтовых вод по отношению к поверхности покрытия;
- наличие и продолжительность застоя поверхностных вод у насыпи, на обочинах и покрытии;
- степень увлажнения земляного полотна выпадающими осадками;
- вид грунтов, слагающих насыпь и ее высоту;
- тип и толщину конструктивных слоев дорожных одежд;
- наличие дренажных устройств и их способность к дальнейшей работе.

Для правильного назначения мероприятий по осушению земляного полотна при капитальном ремонте дороги особенно важно установление состояния существующих дренажных и водоотводных устройств. Для подстилающего слоя следует определить его толщину, качество песка по его гранулометрическому составу и коэффициенту фильтрации, степени заиливания слоя. На основании этих данных устанавливается пригодность и соответствие существующего дренирующего слоя в дорожной конструкции.

Детальному обследованию подлежат устройства по отводу воды из подстилающего слоя. Если отвод воды из-под проезжей части осуществляется сплошным дренирующим слоем, песок под обочинами следует подвергнуть тем же испытаниям, что и слой под проезжей частью. Если отвод воды осуществляется *дренажными трубами*, необходимо установить их пригодность для дальнейшей работы. В этом случае обследуют:

- целостность труб;
- места стыков;
- входные и выходные отверстия труб;
- степень их загрязнения;
- размеры и качество фильтрованных обсыпок.

Обследованию подлежит *система поверхностного водоотвода* существующей дороги с целью установления состояния водоотвода и всех водоотводных сооружений и проектирования мероприятий по их капитальному ремонту или устройству новых сооружений.

При обследовании необходимо установить причины, препятствующие отводу воды от полотна дороги и с обочин. При этом обращают внимание на:

- отсутствие или неисправность водоотводных (водопрпускных) сооружений, подводящих устройств к ним и водоотводных канав;
- недостаточность продольного уклона существующих канав и дна резерва, поперечного уклона проезжей части и обочин, загромождение водоотводных сооружений оплывами, наносами, зарастание травой или кустарником, келейность и другие деформации на проезжей части и обочинах;
- заиливание существующих дренажных и водопоглощающих устройств.

В результате обследования участков дорог, проходящих на болотах, устанавливают:

- состояние земляного полотна и грунта насыпи, степени погружения насыпи в торф и ее конфигурацию;
- плотность торфов под насыпью и вне насыпи;
- влажность и степень разложения торфов;
- категорию болота;
- характер минерального дна;
- наличие под насыпью движения воды.

По данным службы эксплуатации дороги необходимо установить, закончилась ли осадка насыпи, проводилось ли осушение болотного массива. Натурными наблюдениями определяют наличие колебаний при проходе автомобилей.

Для подробного изучения физико-механических свойств грунтов, находящихся под насыпью, и подстилающих грунтов минерального дна, из скважин отбирают образцы торфов с ненарушенной структурой – монолиты, а также образцы минеральных грунтов с нарушенной структурой.

14.10. Оценка прочности дорожной одежды по упругому прогибу

Оценку прочности дорожной одежды производят по измеренной величине упругого прогиба покрытия под воздействием статического или динамического нагружения.

Испытания дорожных одежд следует производить весной при оттаивании грунтов земляного полотна на глубину более 40 см, летом и осенью, когда температура покрытия находится в пределах от 10 до 30°С. Поэтому в жаркие летние дни испытания необходимо производить в утренние часы.

Температуру покрытия измеряют коленчатыми термометрами на глубине 3-4 см от поверхности покрытия не менее трех раз в течение дня. Для измерения температуры в покрытии делают лунку диаметром 1,0-1,5 см и устанавливают латунную трубку. Измерение температуры производят после затухания скорости изменения показаний по термометру до 0,5 град./мин. Допускается определять температуру другими методами, обеспечивающими точность до 1°С.

Упругий прогиб измеряют по внешней полосе наката через каждые 50 м. При наличии значительных деформаций покрытия на внутренней полосе наката испытания производят на обеих полосах, в расчет принимают большие значения прогиба.

На участках дорог, где деформации покрытия связаны с недостаточной несущей способностью основания (сетки трещин, колеяность), измерения следует производить в местах наибольших разрушений через каждые 10-15 м с тем, чтобы получить наибольшие значения прогиба, установить границы слабого участка и накопить необходимое для статистической обработки количество измерений.

Измерение упругого прогиба методом статического нагружения с помощью рычажного прогибомера производят следующим образом (рис. 14.21):

- для испытаний дорожной одежды подготавливают грузеный автомобиль, у которого нагрузка на заднее колесо и давление на покрытие близки к расчетным для автомобилей группы А;
- автомобиль устанавливают на точке измерения и заводят рычажный прогибомер между задними спаренными колесами автомобиля по оси действия нагрузки. Легкими постукиваниями карандашом по швеллеру добиваются стабильного положения стрелки индикатора;
- снимают отсчет по индикатору и записывают его в журнал;
- затем автомобиль съезжает вперед на следующую точку;
- после затухания деформации покрытия таким же образом, как указано выше, снимают повторный отсчет по индикатору;
- разница в отсчетах соответствует величине упругого прогиба в точке измерения.

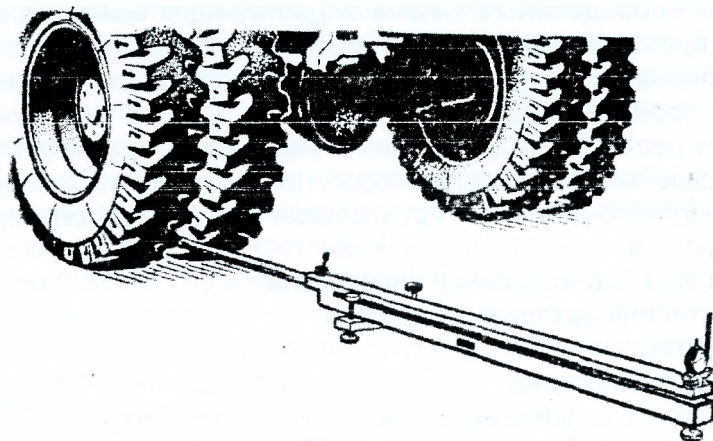


Рис. 14.21. Определение прогиба дорожной одежды прогибомером

Для измерения упругого прогиба применяют установки кратковременного нагружения типа передвижной лаборатории модели КП-502МП, разработанной в МАДИ, которые работают на принципе передачи усилия от падающего груза на дорожное покрытие. Испытания дорожных одежд могут быть выполнены и другим оборудованием и приборами, обеспечивающими измерение прогибов с допустимой погрешностью 0,02 мм. В этом случае необходимо произвести корреляцию между измеренным упругим прогибом и полученным методом статического нагружения. При этом следует учитывать, что корреляционные коэффициенты в этой зависимости будут изменяться для различных конструкций дорожной одежды, толщин слоев и свойств грунтов земляного полотна, поэтому распространять их можно только на аналогичные условия.

Так как оценка прочности дорожных одежд при массовом обследовании дорог не может быть выполнена в расчетный период, наиболее неблагоприятный по условиям увлажнения за срок службы дороги, необходимо данные разовых испытаний значений упругого прогиба привести к расчетному состоянию конструкций с учетом изменяющихся в зависимости от климатических свойств грунтов земляного полотна и слоев дорожных одежд.

Учитывая вероятностный характер измерения упругого прогиба по протяженности обследуемой дороги, а также необходимость оценки несущей способности конструкции с определенной степенью надежности следует обрабатывать измеренные и приведенные к расчетному состоянию значения упругого прогиба для каждого из выделенных по степени разрушения участков дороги *методом математической статистики*. Границы выделенных участков дорог по данным визуальной оценки состояния конструкции следует уточнить на основе измеренных значений упругого прогиба, особенно применительно к тем участкам дорог, где разрушения на покрытии связаны, главным образом, с недостаточной несущей способностью дорожной одежды.

По результатам визуального обследования и оценки прочности дорожной одежды выделяют участки дороги, характеризующиеся определенным состоянием покрытия и близкими по величине измеренными прогибами дорожной одежды.

При выделении характерных участков дороги необходимо, чтобы количество измерений было достаточным для надежной оценки прочности (не более 10). На отдельных участ-

ках дорог могут иметь место отдельные локальные разрушения, связанные, например, с переувлажнением грунтов земляного полотна и неукрепленных слоев основания, которые следует выделять независимо от их протяженности.

Приведение измеренных значений упругого прогиба к расчетному состоянию дорожной конструкции производят по зависимости

$$l_p = \frac{l_u \cdot m}{\beta}, \quad (14.24)$$

где l_u – величина измеренного упругого прогиба с учетом корректировки на температуру 20°C и способа проведения испытаний, см; l_p – расчетная величина упругого прогиба, см; m – коэффициент, зависящий от времени проведения испытаний; β – коэффициент, учитывающий климатические условия года испытаний.

При проведении испытаний дорожной одежды в расчетный период оттаивания грунтов земляного полотна (март-апрель) необходимо убедиться в том, что наступила тенденция снижения ее прочности (увеличение упругого прогиба). Как правило, *снижение прочности дорожной одежды* наблюдается при глубине оттаивания грунтов земляного полотна более, чем на 20-30 см. В этом случае коэффициент m следует принимать равным 1.

Корректировку измеренного упругого прогиба к стандартной температуре 20°C следует производить по номограмме (рис. 14.22) в следующей последовательности:

- откладывают по оси абсцисс и ординат измеренные значения, соответственно температуры покрытия и упругого прогиба;
- проводят перпендикуляры и находят точку их пересечения;
- затем из этой точки проводят прямую, параллельную ближайшей к ней наклонной прямой до пересечения с перпендикуляром, восстановленным из точки на оси абсцисс, соответствующей 20°C (рис. 14.22);
- из точки пересечения проводят перпендикуляр на ось ординат, на которой и определяют скорректированное значение упругого прогиба.

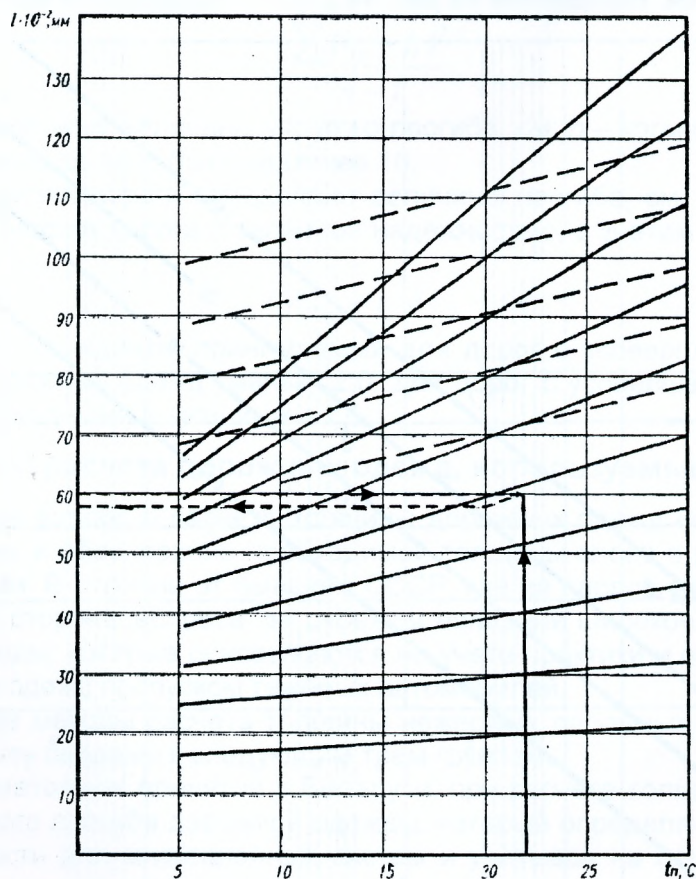


Рис. 14.22. Зависимость между упругим прогибом и температурой покрытия: — — — для асфальтобетонного покрытия, подверженного интенсивному трещинообразованию

Коэффициент m необходимо устанавливать по табл. 14.13 для глинистых грунтов с учетом времени проведения испытаний, характера и степени увлажнения грунтов.

Таблица 14.13. Значения коэффициента m

Вид грунта земляного полотна	Характер увлажнения	Коэффициент m по месяцам				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
Глинистые грунты и пылеватый песок	Избыточное от грунтовых и поверхностных вод	1,35	1,50	1,60	1,80	1,70
	Отсутствуют источники переувлажнения	1,25	1,35	1,50	1,60	1,55

При проведении испытаний в начале месяца (до 5 числа) и в конце месяца (после 25 числа) коэффициент m определяют как среднее арифметическое между его значениями в соседние месяцы. Если земляное полотно сложено из песчаных грунтов, за исключением песка пылеватого, коэффициент m следует принимать равным 1,25.

Для определения коэффициента β необходимо по данным ближайшей к дороге гидрометрической станции охарактеризовать климатические условия года испытаний. Температурный режим зимы, предшествующей испытаниям, определяют по зависимости

$$M = \frac{D \cdot T}{|3/2 - D|}, \quad (14.25)$$

где D – сумма градусо-дней мороза за период до наступления продолжительной и интенсивной оттепели (не менее 4 дней с положительной среднесуточной температурой), T – сумма градусо-дней тепла за зиму; 3 – сумма градусо-дней мороза за зиму.

Вычисленное значение показателя M откладывают на оси абсцисс (рис. 14.23) и восстанавливают перпендикуляр до пересечения с прямой (Q), соответствующей количеству осадков, выпавших в предзимний период за месяц до начала промерзания (даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C) в год испытаний. Из точки пересечения проводят перпендикулярную прямую до пересечения с осью ординат и определяют значение коэффициента β (см. построение на рис. 14.23).

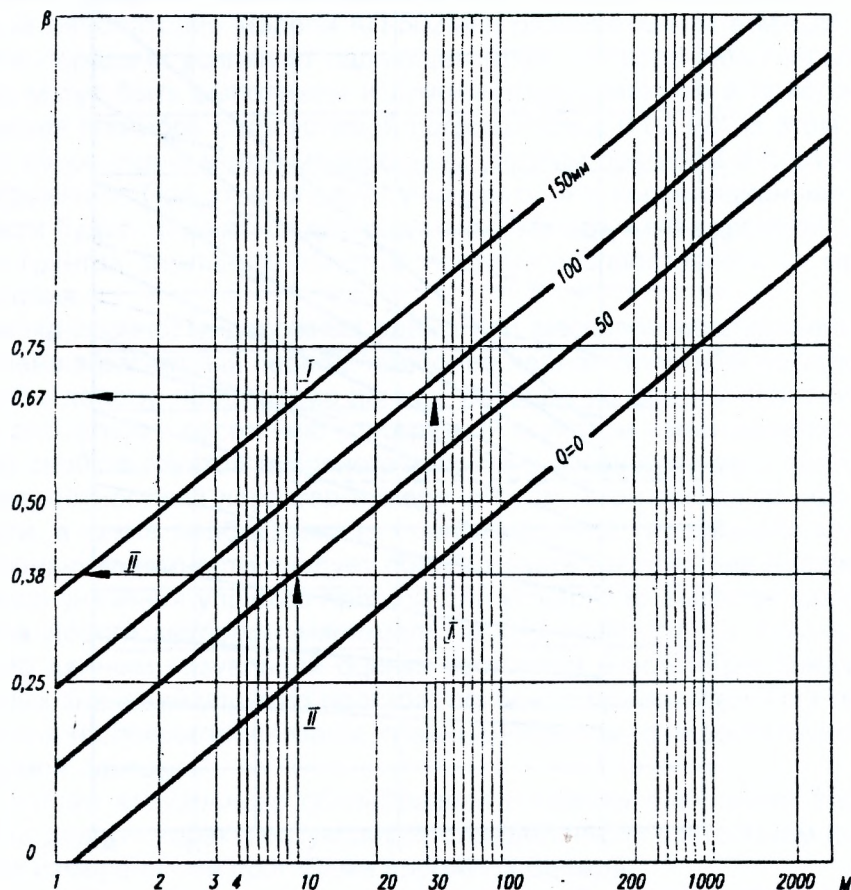


Рис. 14.23. Номограмма для определения климатического коэффициента

Полученные значения следует относить к обследуемым дорогам с земляным полотном, сложенным из глинистых грунтов и песка пылеватого в условиях избыточного увлажнения от грунтовых и поверхностных вод. Для аналогичных грунтов при отсутствии источников переувлажнения полученные значения коэффициента β умножают на 1,3. Если земляное полотно сложено из песчаных грунтов, то при найденных по номограмме значениях $\beta < 0,6$, климатический коэффициент следует принимать равным 0,8, в остальных случаях – 0,9.

Каждое измеренное значение упругого прогиба приводят к расчетной величине в следующей последовательности:

- а) при проведении испытаний не статическим методом следует скорректировать полученные значения прогиба на основе корреляционных испытаний оцениваемой конструкции дорожной одежды;
- б) необходимо привести полученные значения прогиба к расчетной температуре 20°C с помощью номограммы (см. рис 14.22);
- в) при проведении испытаний в нерасчетный период следует определить по табл. 14.13 коэффициент m , отражающий влияние времени испытаний на величину измеренного упругого прогиба;
- г) для учета сложившихся климатических условий в год испытаний находят величину коэффициента β , дифференцированного в зависимости от температурных условий, сложившихся зимой, предшествующей году испытаний, количества осадков, выпавших в предзимний период, а также грунтово-гидрологических условий;
- д) вычисляют расчетное значение упругого прогиба.

После уточнения границ выделенных характерных участков обследуемой дороги для каждого из них величины расчетных прогибов выписывают в единые статистические ряды и определяют среднее арифметическое значение, см

$$l_{cp} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n}, \quad (14.26)$$

среднее квадратическое отклонение

$$\delta = \frac{\sum (l_{cp} - l_i)^2}{n - 1}, \quad (14.27)$$

где l_1, l_2, \dots, l_n – измеренные величины упругого прогиба, см; n – количество членов в статистическом ряду, которое должно быть не менее 10.

Для каждого участка дороги определяют величины прогиба, см, характеризующие несущую способность участка дороги с заданной надежностью, с учетом капитальности и срока службы дороги

$$l = l_{cp} + t \cdot \delta, \quad (14.28)$$

где t – коэффициент Стьюдента, принимаемый для дорог с усовершенствованными капитальными типами дорожных одежд равным 2,0, для дорог с усовершенствованными облегченными – 1,7, с переходными и низшими – 1,6.

14.11. Методы расчета дорожных одежд, используемые за рубежом

Весьма сложный вопрос о расчете толщины дорожных одежд еще не получил общепризнанного решения, и обоснование необходимой толщины слоев в разных странах ведут различными методами. В отличие от бывшего СССР, где на первое место ставилась разработка теоретической стороны вопроса, за рубежом находили широкое распространение полуэмпирические методы, которые основываются на учете практики и опытов по испытаниям прочности дорожных одежд пропуском тяжелых автомобилей.

Многочисленные методы расчета толщины нежестких дорожных одежд, применяемые за рубежом, могут быть сведены к следующим трем группам.

1. Аналогично методике, принятой в Беларуси, при расчете толщины дорожных одежд исходят из допустимого прогиба дорожной одежды, который определяют, используя зависимости теории упругости для многослойных систем и учитывая на основе опытов разными способами влияние интенсивности движения. Иногда многослойные одежды приводят к двухслойным, принимая средневзвешенные модули упругости всех слоев с учетом их толщины.

2. Использование графиков эквивалентных толщин дорожных одежд, составленных на основе учета службы построенных дорог и специальных экспериментов на опытных участках. В зависимости от суточной интенсивности движения или общего числа автомобилей, которые должны пройти по дороге за межремонтный период, определяют приведенную толщину дорожной одежды. Необходимую толщину отдельных слоев подбирают с учетом коэффициентов приведения слоев из разных материалов к эквивалентной толщине. В ряде случаев опыты, проводившиеся для построения таких графиков, были очень обширными и выполнялись на специально построенных испытательных полигонах с длительными проездами колонн тяжелых автомобилей до полного разрушения дорожных одежд (испытания, организованные Американской ассоциацией сотрудников дорожных организаций штатов – AASHTO, так называемые «опыты Эйшо»).

Известны также графики Корпуса инженерных войск США, Управления гражданской авиации США, фирмы «Шелл», Асфальтового института США и др.

3. Использование альбомов типовых конструкций равнопрочных дорожных одежд для разных интенсивностей движения при условии обязательного и строго контролируемого обеспечения строителями заданной прочности земляного полотна, проверяемой перед началом укладки дорожной одежды (Япония, ФРГ, Франция).

Для характеристики прочности грунтов широко используется особый показатель CBR («Си-би-ар», сокращенное California Bearing Ratio – калифорнийское число несущей способности). Его определяют путем вдавливания цилиндрического штампа в образец грунта или другого материала конструктивных слоев, уплотненного в цилиндрической форме высотой и диаметром 20 см. Штамп диаметром 5 см вдавливают со скоростью 1,25 мм/мин на глубину 2,5 см. Измеренное давление, деленное на 100, принимают за характеристику прочности грунта. Чаще всего грунт увлажняют путем капиллярного насыщения водой в течение 4 сут. В некоторых странах, особенно с жарким климатом, варьируют методику увлажнения образцов грунтов. Это испытание, по сути являющееся определением модуля деформаций в лабораторных условиях при постоянной для всех материалов глубине вдавливания штампа, дает условную характеристику прочности, которая может существенно отличаться от аналогичных показателей грунта в основании дорожной одежды.

15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

15.1. Область применения. Основные виды покрытий

Жесткими называют дорожные одежды с усовершенствованными покрытиями – цементобетонными или асфальтобетонными на основаниях из монолитного бетона.

Жесткие дорожные одежды относят к категории *капитальных одежд*, устраиваемых:

- на автомобильных дорогах I-IV категорий общей сети с движением автомобилей и автопоездов большой грузоподъемности (с нагрузкой на ось 100 кН и более);
- в районах, не обеспеченных местными каменными материалами, пригодными для покрытий и верхних слоев оснований;
- при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается устройство таких одежд на подъездных дорогах промышленных предприятий, крупных строительных объектов и сельскохозяйственных предприятий. В последнем случае покрытия применяют в соответствии со СНиП 2.05.11-83.

По технологии строительства, оказывающее определенное влияние на конструкцию покрытия, цементобетонные покрытия подразделяются на *монолитные и сборные*. В настоящее время монолитные покрытия различают по *способу устройства*:

- комплектом высокопроизводительных машин со скользящими формами (опалубкой) с автоматической системой обеспечения ровности (комплект ДС-100);
- комплектом машин, передвигающихся по рельс-формам, одновременно выполняющие функцию неподвижной опалубки при бетонировании покрытия (комплект с бетоноотделочной машиной Д-376 или ДБО-7,5).

Сборные покрытия состоят из бетонных плит, которые изготавливают в заводских условиях и укладывают на дороге кранами или другими видами монтажного оборудования. В отличие от монолитных, сборные покрытия применяют на участках дорог специального назначения или временных дорог, к которым не предъявляются повышенные требования по транспортно-эксплуатационным качествам. В частности, эти покрытия *особенно целесообразно* применять:

- на дорогах нефтяных и газовых промыслов;
- в районах промышленного, гидротехнического и других видов строительства;
- в крупных карьерах, на лесоразработках;
- на участках дорог в местах срочного пропуска транспортных средств при ремонте дорожного покрытия.

По конструкции цементобетонные покрытия подразделяются на неармированные, армированные и предварительно-напряженные.

Среди армированных покрытий различают следующие *виды по степени насыщения сечения продольной арматурой*:

- до 0,25% – армированные покрытия;
- 0,25-0,4% – железобетонные;
- 0,4-0,7% – непрерывно армированные.

Особенностью непрерывно армированных покрытий является отсутствие в покрытии поперечных деформационных швов, функцию которых частично выполняют значительное число поперечных волосяных трещин, образующихся в покрытии в процессе эксплуатации на расстоянии 0,3-3,0 м друг от друга. Несмотря на эффективность таких покрытий, в отечественной практике строительства автомобильных дорог они не нашли широкого применения.

Предварительно-напряженные покрытия представляют собой конструкцию, обладающую повышенной трещиностойкостью и работоспособностью в процессе эксплуатации благодаря предварительному обжатию бетона (до 1 МПа) в ходе строительства автомобильной дороги.

По способу создания предварительного напряжения монолитные покрытия делятся на покрытия:

- с внешним безарматурным обжатием бетона;
- с предварительно напрягаемой арматурой (струны, пучки, стержни периодического профиля).

В струнобетонных покрытиях предварительное напряжение создается высокопрочной стальной проволокой диаметром 4-5 мм с пределом прочности 1600 МПа, напрягаемой до бетонирования и отпускаемой на бетон после достижения им 70-80% проектной прочности.

За счет предварительного напряжения удастся значительно снизить толщину этих покрытий (до 10-15 см), что позволяет рассматривать струнобетонные покрытия как весьма экономичные.

Строительство монолитных предварительно-напряженных покрытий осуществлялось в бывшем СССР в период с середины 1950-х до начала 1970-х годов. В настоящее время применение их ограничивается значительной трудоемкостью, не позволяющей обеспечить современные темпы строительства автомобильных дорог. Кроме того, при строительстве предварительно-напряженных покрытий требуется повышенное внимание к технике безопасности.

Большое разнообразие цементобетонных покрытий позволяет проектировщику выбрать наиболее эффективную конструкцию. Окончательное решение принимается на основании технико-экономического расчета.

15.2. Общие требования к жестким дорожным одеждам

Опыт эксплуатации автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями свидетельствует, что под воздействием автомобильного движения и погодно-климатических факторов происходит постепенное ухудшение состояния покрытия в результате образования различных дефектов.

В общем случае в покрытии после его устройства:

- развиваются повышенные напряжения от сил сопротивления основания температурным перемещениям и срабатывают отдельные поперечные швы покрытия;
- затем начинают существенно влиять температурные напряжения, возникающие от невозможности коробления покрытия, и динамические нагрузки от движущихся автомобилей. В результате происходит процесс постепенного уменьшения длины частей покрытия;
- на участках покрытия длиной менее 10 м растрескивание вызывается совместным действием температуры и нагрузки. При этом воздействие температуры обуславливает вид дефекта (*поперечная трещина*), а многократно повторяющиеся проезды автомобилей способствуют местному перенапряжению и усталостному разрушению бетона покрытия. Со временем, когда ширина вновь образованных трещинами частей плит будет превышать длину, в них начинают появляться *продольные трещины*;
- в дальнейшем с ростом количества проездов автомобилей по дороге поперечные и продольные трещины целиком разрушают цементобетонное покрытие (образуется сетка трещин);
- одновременно с образованием трещин в покрытии начинается процесс постепенного смещения частей плит по вертикали, приводящий к образованию ступеней и перекосов плит. В результате ровность покрытия становится неудовлетворительной и требуется ремонт покрытия или реконструкция дороги.

На эксплуатационное состояние цементобетонных покрытий существенное влияние оказывают:

- конструктивные особенности дорожной одежды;
- физико-механические свойства материалов конструктивных слоев;
- в значительной степени грунты земляного полотна. Поэтому расчет дорожных одежд осуществляют комплексно с учетом земляного полотна.

В целом для сохранения необходимых транспортно-эксплуатационных качеств и сплошности покрытия **к конструкции жесткой одежды предъявляются следующие требования по:**

1) *трещиностойкости покрытия и конструктивных слоев*, способных сопротивляться изгибу. В качестве критерия прочности используется допускаемое напряжение растяжения при изгибе монолитных слоев под воздействием температуры и динамической нагрузки;

2) *прочности дорожной одежды в целом*. В качестве критерия прочности используется допускаемое напряжение сдвига в грунтах земляного полотна и в слоях, не способных со-

противляться изгибу. Проверка прочности дорожной одежды по критерию сдвига осуществляется методами, аналогичными принятым для нежестких дорожных одежд;

3) *продольной устойчивости покрытия*. В качестве критерия используется критическое напряжение сжатия, возникающее в покрытии при повышении его температуры;

4) *морозоустойчивости дорожной одежды*. В качестве критерия используется допустимое зимнее вспучивание (вертикальный подъем) покрытия. Расчет морозоустойчивости одежды осуществляется методами, принятыми при проектировании нежестких дорожных одежд;

5) *шероховатости поверхности покрытия*. В качестве критерия используется допустимый коэффициент сцепления колеса с покрытием или допускаемая средняя высота выступов шероховатости. Требования по шероховатости поверхности покрытия обеспечиваются технологическими приемами при строительстве автомобильной дороги.

Учет всех указанных требований приводит к конструированию жестких одежд в виде многослойных систем.

Современная жесткая дорожная одежда состоит из:

- покрытия;
- выравнивающего слоя;
- основания;
- дополнительного слоя основания.

Покрытие должно обеспечивать безопасный проезд автомобилей с расчетными скоростями. Толщина бетонных покрытий устанавливается расчетом и должна быть, как правило, одинаковой по всей ширине проезжей части. На шестиполосных покрытиях толщину крайних внешних полос допускается увеличивать на 2-4 см для обеспечения проезда тяжелых автомобилей.

Выравнивающий слой предназначен для обеспечения наилучших условий взаимодействия покрытия с основанием при действии температуры и внешней нагрузки, он способствует равномерному опиранию плит на основание, устраняя отдельные неровности. Для устройства выравнивающих слоев:

- на дорогах I и II категорий используют битумопесчаную смесь, распределяемую слоем толщиной 3-5 см. Большие толщины применяют в случае пропуска строительного транспорта в зоне проезжей части автомобильных дорог;
- необработанный песок слоем 5 см используют для выравнивающего слоя на дорогах III-IV категорий, а также II категории при перспективной интенсивности движения менее 5000 авт/сут;
- на дорогах II и III категорий допускается применение битумопесчаной смеси слоем толщиной 5 см на основаниях из щебня, гравия, шлака и ракушечника;
- выравнивающий слой может не устраиваться на основаниях из низкомарочного бетона или грунта и каменных материалов I класса прочности, укрепленных цементом, при условии, если ровность основания соответствует требованиям строительных норм и правил по производству и приемке работ при строительстве автомобильных дорог.

Основание под цементобетонное покрытие устраивают для уменьшения давления на подстилающий грунт от движущихся автомобилей, а также комплекта гусеничных машин, используемых при устройстве покрытий в скользящей опалубке:

- на дорогах I-III категорий для оснований применяют каменные материалы или грунты, укрепленные цементом и другими неорганическими вяжущими;
- основания из щебня, шлака и грунтов, укрепленных органическими вяжущими, устраивают на дорогах II и III категорий;
- песок и гравийно-песчаные смеси применяют, как правило, на дорогах III и IV категорий, а также на дорогах II категории при перспективной интенсивности движения до 4000 авт/сут и толщине цементобетонного покрытия, равной 22 см;
- при строительстве покрытия комплектом машин со скользящими формами для обеспечения прохода гусеничных машин укрепленные вяжущими основания должны иметь ширину 9,6 или 9,8 м. В случае применения комплекта машин, передвигающихся по рельс-формам, основание устраивают шире покрытия не менее чем на 0,5 м с каждой стороны, но не менее ширины укрепленных полос;

- толщину основания назначают по расчету, но не менее 14 см из песчаных и супесчаных грунтов, укрепленных цементом, и из тощего бетона, и 15 см – из щебня, шлака или гравия при использовании основания для движения построечных автомобилей грузоподъемностью до 7т. При строительстве покрытий комплектом машин со скользящими формами и использовании автомобилей грузоподъемностью от 7 до 12т толщину оснований из укрепленных цементом грунтов и каменных материалов I класса прочности рекомендуется принимать не тоньше 16 см, а в остальных случаях – не менее 18 см;
- минимальную толщину основания из песка с учетом требования морозоустойчивости конструкции назначают 10-25 см в зависимости от вида грунта земляного полотна и дорожно-климатического района.

Дополнительный слой основания наряду с передачей нагрузок на земляное полотно выполняет функции морозозащитного или дренирующего слоя. В зависимости от климатических и гидрогеологических условий указанные функции могут совмещаться. Дополнительный слой основания устраивают из морозостойких и дренирующих грунтов. Толщину слоя рассчитывают в соответствии с Пособием 3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85.

15.3. Конструирование бетонных покрытий

А. Монолитные покрытия. *Покрытия из неармированного цементобетона устраивают* либо однослойными, либо двухслойными с верхним слоем толщиной не менее 6 см. Двухслойные покрытия применяют, как правило, при строительстве комплектом машин, передвигающихся по рельс-формам, с целью использования в бетоне для нижнего слоя менее прочных и морозостойких местных каменных материалов. Общую толщину покрытия назначают 18-24 см и более в зависимости от категории автомобильной дороги, состава и интенсивности движения автомобилей и вида материала основания.

Для предотвращения образования случайных трещин в покрытии устраивают продольные и поперечные швы. *Среди поперечных швов различают швы:*

- расширения;
- сжатия;
- коробления;
- рабочие.

Продольные и поперечные швы должны пересекаться под прямым углом, при этом поперечные швы располагают всегда на одной прямой по ширине покрытия. Допускается устройство поперечных швов сжатия под углом 80° к продольной оси.

Продольный шов устраивают при ширине покрытия более 4,5 м, чтобы предупредить появление извилистых продольных трещин от воздействия транспортных средств, неравномерного пучения и местной осадки земляного полотна.

Швы расширения повышают продольную устойчивость бетонного покрытия при максимальном нагреве летом. Их всегда устраивают при примыкании покрытий к мостам, путепроводам и в местах пересечения бетонных покрытий в одном уровне. Расстояние между швами расширения назначают от 16 до 110 м в зависимости от температуры воздуха во время бетонирования, толщины покрытия и климатических условий района расположения дороги. В частности, в континентальном климате расстояние между швами расширения принимается меньшим по сравнению с умеренным климатом. Меньшие расстояния принимают при меньшей толщине покрытия и более низких температурах воздуха.

При строительстве покрытий допускается не устраивать швы расширения, если толщина покрытия составляет 24 см и более, а температура воздуха во время бетонирования выше 5°С в условиях умеренного климата и выше 10°С – в условиях континентального климата.

Швы сжатия устраивают между швами расширения с целью предупреждения образования случайных поперечных трещин при совместном действии температуры, усадки бетона и нагрузок от движущихся автомобилей. Расстояние между швами сжатия (длину плиты) назначают по расчету в зависимости от толщины плиты и климатических факторов. Длину неармированных плит, как правило, назначают в пределах, указанных в табл. 15.1. Большая длина плиты соответствует надежности покрытия около 50%, меньшая – около 85% (пол надежностью подразумевается число плит без трещин в процентах от всех плит на по-

следний год службы покрытия). Допускается уточнение длины плиты при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Таблица 15.1. Значения длин неармированных плит монолитного покрытия, м

Климат	Толщина покрытия, см			
	18	20	22	24
Умеренный	4,5-5,0	5,0-6,0	5,0-6,0	5,5-7,0
Континентальный	3,5-4,0	4,0-5,0	4,0-5,0	4,5-6,0

Швы коробления размещают через один шов сжатия при длине плит менее 7 м. Их устраивают с целью повышения продольной устойчивости покрытия, уменьшения раскрытия швов и перекосов плит при температурных деформациях.

Рабочие швы устраивают по типу швов коробления в конце рабочей смены или при перерыве бетонирования покрытия более чем на 3 ч.

Для исключения образования уступов в швах и обеспечения передачи нагрузки с одной плиты на другую края плит вдоль швов (кроме швов коробления), как правило, соединяют стальными штырями (рис. 15.1, табл. 15.2).

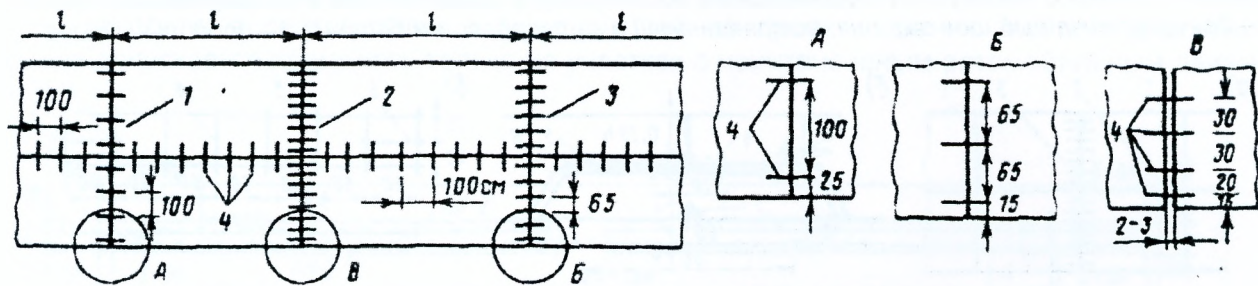


Рис. 15.1. Схема расположения штырей в швах покрытия: 1 – шов сжатия при основании из каменных материалов и из грунтов, укрепленных вяжущими; 2 – шов расширения; 3 – шов сжатия при основании из материалов, не укрепленных вяжущими (песок, щебень, шлак, гравийно-песчаная смесь и др.); 4 – штыри

Таблица 15.2. Размеры штырей из гладкой арматуры

Тип шва	Толщина плиты, см	Длина штырей, см	Диаметр штырей, мм
Шов расширения	20-24	50	25
	18	50	22
Шов сжатия	18-24	45	22
Продольный шов	18-24	75	10-12

Применяемые конструкции швов приведены на рис. 15.2, 15.3 и 15.4.

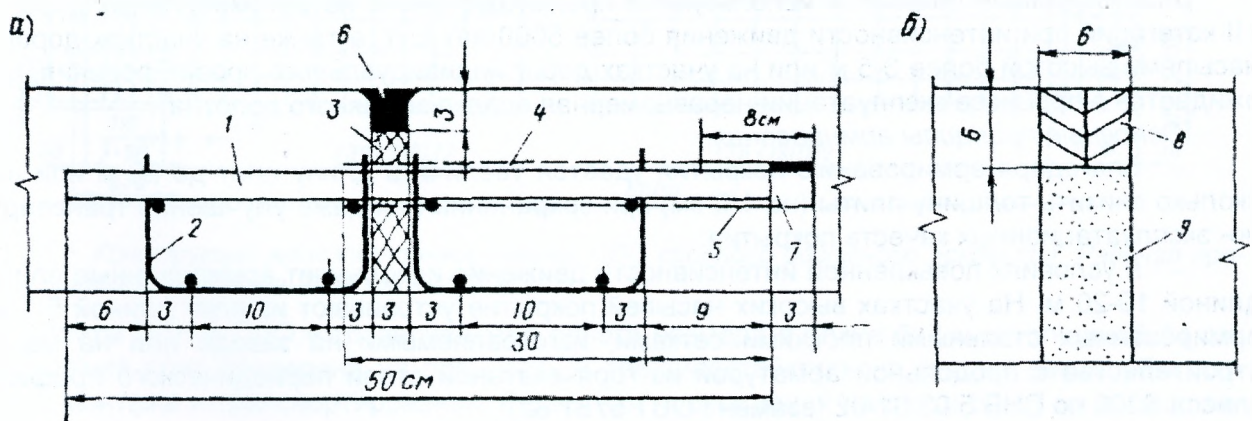


Рис. 15.2. Типовые конструкции поперечных швов расширения: а – устраиваемые в покрытии; б – перед искусственными сооружениями; 1 – штыри; 2 – каркас-корзинка; 3 – деревянная доска-прокладка; 4 – битумная обмазка; 5 – колпачок из резины или полиэтилена; 6 – мастика; 7 – воздушный зазор в колпачке; 8 – герметизирующий материал или готовая резиновая прокладка; 9 – пористый легкосжимаемый материал

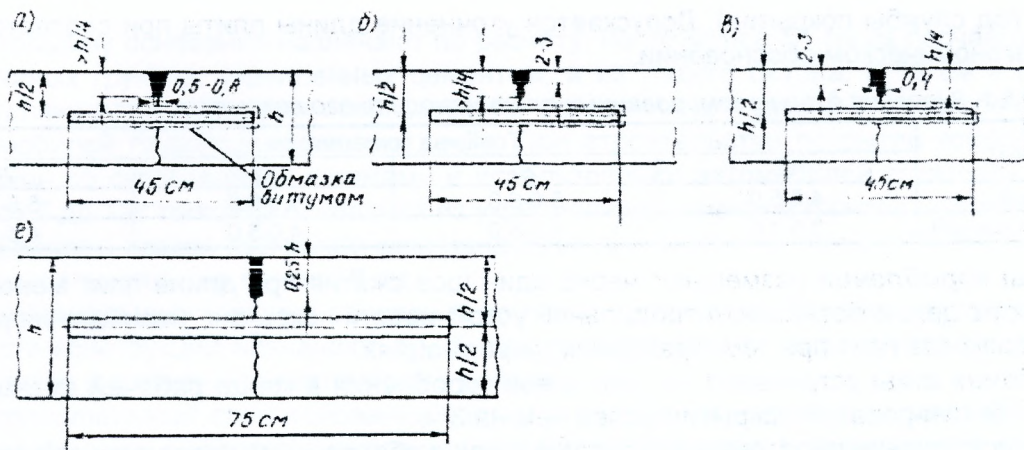


Рис. 15.3. Конструкции поперечных швов сжатия и продольного шва: а – шов сжатия, устраиваемый в свежееуложенном бетоне; б – шов сжатия, устраиваемый комбинированным способом путем закладки ленты в свежееуложенном бетоне с последующей нарезкой паза в затвердевшем бетоне; в – двухступенчатый шов сжатия, устраиваемый в затвердевшем бетоне; г – продольный шов

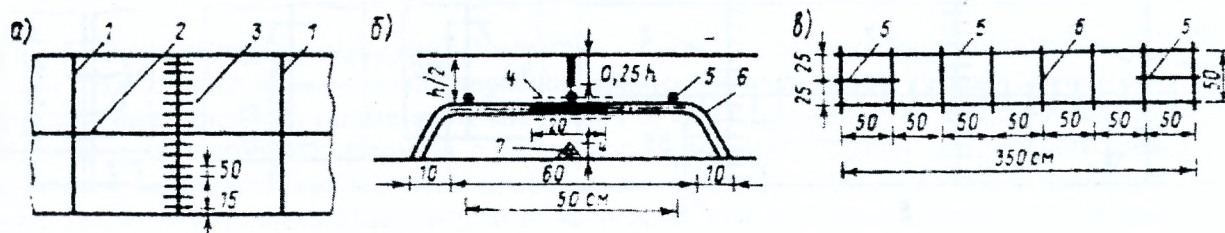


Рис. 15.4. Шов коробления: а – размещение штырей анкеров в шве коробления; б – конструкции шва коробления; в – схема крепления штырей-анкеров к продольным стержням на длину шва 3,75 м; 1 – шов сжатия; 2 – продольный шов; 3 – шов коробления; 4 – обмазка стержней-анкеров битумом; 5 – продольные стержни из арматуры диаметром 6-8 мм; 6 – штыри анкеры из гладкой арматуры класса S300 диаметром 14-16 мм; 7 – деревянная рейка

При строительстве покрытий на дорогах II категорий с основаниями из песка и песчано-гравийных смесей края плит, примыкающие к обочинам, разрешается армировать двумя стержнями из арматуры периодического профиля диаметром 12 мм. Стержни располагают на 5 см выше подошвы плит. Первый стержень размещают на расстоянии 10 см от боковой грани плиты, а второй – на расстоянии 20 см от первого. Стержни не доводят на 50 см до поперечных швов.

Армированные покрытия используются преимущественно на автомобильных дорогах I-II категорий при интенсивности движения более 5000 авт./сут, а также на участках дорог с насыпями высотой более 3-5 м или на участках дорог индивидуального проектирования, где ожидается в процессе эксплуатации неравномерная осадка земляного полотна.

Основные принципы армирования:

- благодаря армированию покрытия удастся увеличить длину плит до 20 м или несколько снизить толщину плиты (на 1-2 см) при сохранении или даже улучшении транспортно-эксплуатационных качеств покрытия;

- в условиях повышенной интенсивности движения используют армированные плиты длиной 10-20 м. На участках высоких насыпей покрытие устраивают из плит длиной 5-7 м, армированных стальными плоскими сетками, изготавливаемыми на заводе или на месте строительства с продольной арматурой из горячекатаной стали периодического профиля класса S300 по СНБ 5.03.01-02 (взамен ГОСТ 5781-82);

- покрытие шириной 7-7,5 м армируют сетками не шире 2300 мм. Минимальное и максимальное расстояние между осями рабочих продольных стержней сеток допускается соответственно 100 и 200 мм. Наибольшее расстояние между осями поперечной гладкой арматуры диаметром до 6 мм не должно превышать 50 см. Сетки располагают в однослойных покрытиях на расстоянии не менее чем 8 см от поверхности покрытия. Допускается располагать сетки на уровне половины толщины покрытия, в двухслойных покрытиях – между верхним и нижним слоями;

– для более эффективной работы плит длиной 4, 5 и 6-7 м применяют плоские сетки длиной соответственно 2,5, 3,0 и 3,5 м, которые укладывают в средней части плиты с равным удалением концов сетки от середины плиты. В плитах длиной до 10 м допускается несплошное армирование. В плитах длиннее 10 м сетки размещают равномерно по ширине покрытия, не доводя до поперечных швов на 50 см.

При строительстве покрытия машинами со скользящими формами разрешается для армирования использовать только продольные стержни, располагая их в середине покрытия.

Б. Сборные покрытия. Конструкция дорожной одежды со сборным покрытием определяется на основании типовых проектных решений с учетом видов имеющихся на месте строительных материалов для устройства основания, а также исходя из назначения и условий работы плит в дорожной одежде.

Наиболее широкое применение находят сборные покрытия из предварительно-напряженных (ПДН) и ненапряженных железобетонных (ПДО) плит, типовые конструкции которых разработаны для промышленных автомобильных дорог. Особенности конструкции сборных плит ПДО (плита дорожная обычная) приведены на рис. 15.5.

Эти плиты в соответствии с «Инструкцией по проектированию жестких дорожных одежд» допускается применять только на участках с неинтенсивным автомобильным движением.

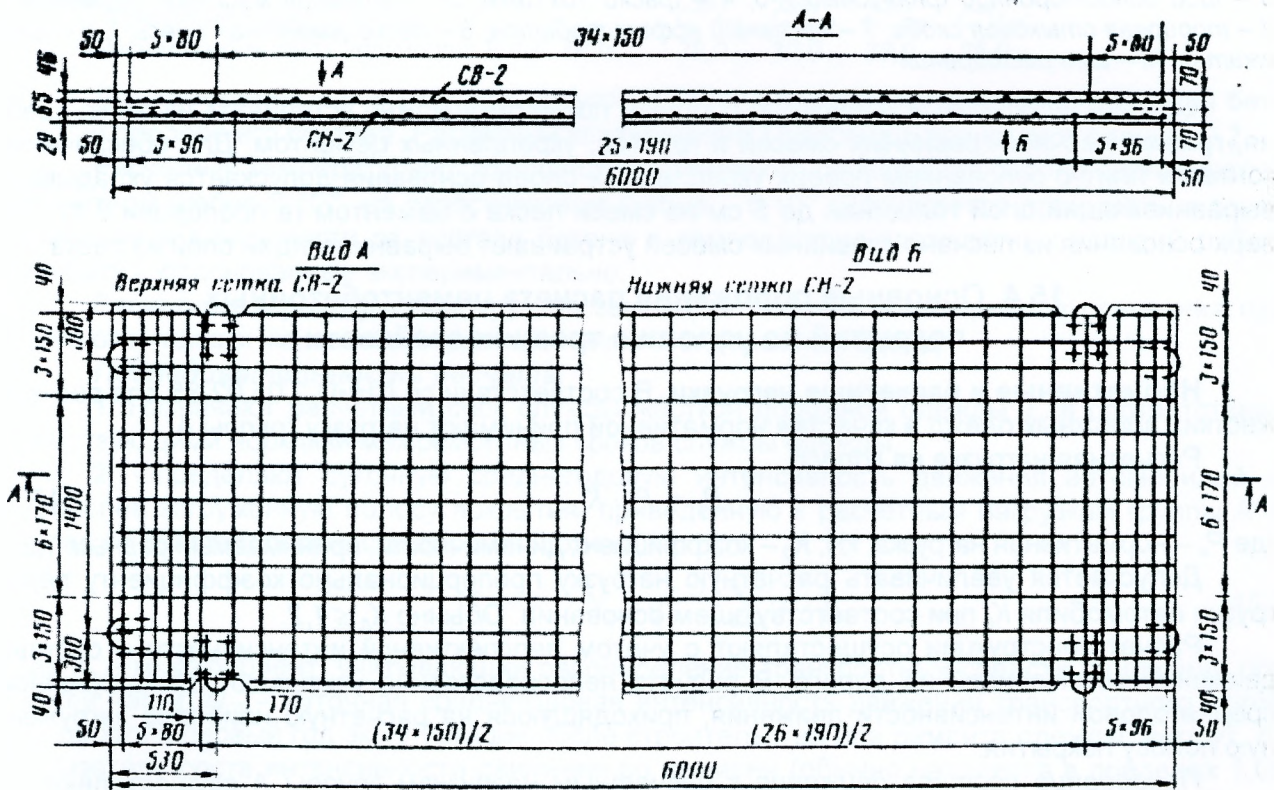


Рис. 15.5. Конструкция железобетонной плиты ПДО сборного дорожного покрытия. Рабочая продольная арматура класса S400 марки 25Г2С

Плиты ПДН и ПДО изготавливаются одного размера в плане 6x2 м и толщиной 14 см. Конструкция плит проверена на прочность и трещиностойкость на стадии распалубки, отгрузки, монтажа и транспортирования. Расчетная нормативная нагрузка 50 кН на колесо автомобиля.

Для соединения плит в покрытии между собой в них предусмотрены закладные элементы в виде горизонтально расположенных стальных скоб, спариваемых при монтаже. Стыковые скобы, устанавливаемые по длинным (продольным) граням плит, являются одновременно монтажными элементами для подъема плит краном (рис. 15.6).

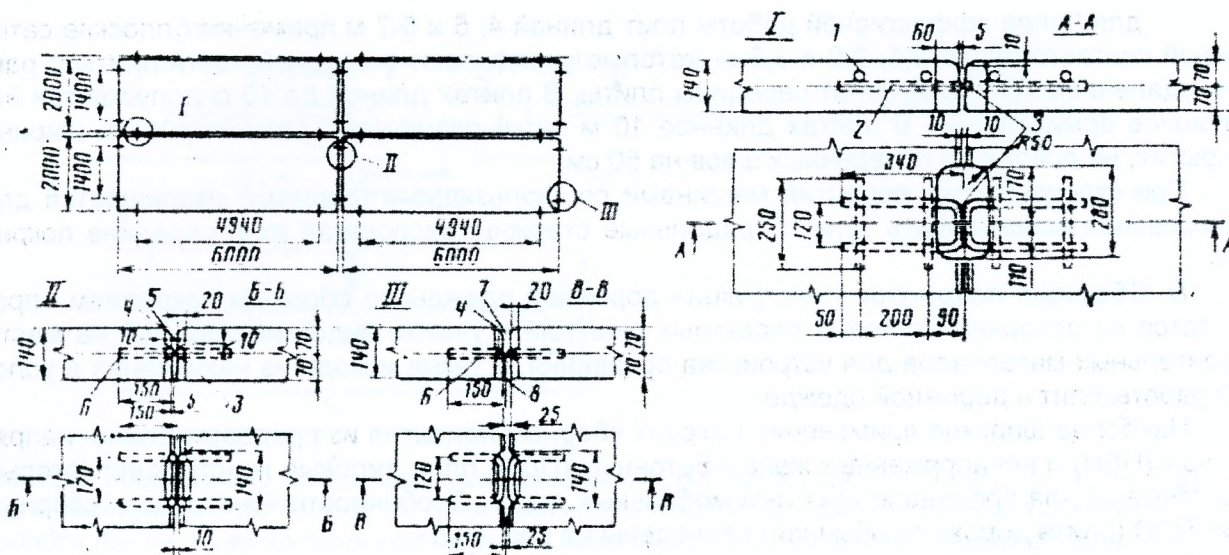


Рис. 15.6. Конструкции швов сжатия и расширения сборного дорожного покрытия: 1 – анкерные стержни $d=10$ мм, $l=250$ мм; 2 – совмещенная стыковая и монтажная скоба $d=20$ мм, $l=800$ мм; 3 – шов односторонний фланговый К-6; 4 – фаски 10×10 мм; 5 – битумная мастика, герметики; 6 – торцовая стыковая скоба; 7 – песчаный асфальтобетон; 8 – пескоцементная смесь; I, II – швы сжатия; III – шов расширения

Основание дорожной одежды со сборным покрытием можно устраивать из песка, щебня, гравия, песчано-гравийных смесей и грунтов, укрепленных цементом. Для обеспечения контакта плит с основанием поверх укрепленных слоев основания допускается укладывать выравнивающий слой толщиной до 5 см из смеси песка с цементом (в пропорции 8:1). Поверх основания из песчано-гравийных смесей устраивают выравнивающий слой из песка.

15.4. Основные положения расчета цементобетонных покрытий по условию трещиностойкости

Нормативные и расчетные нагрузки. В соответствии со СНиП 2.05.02-85 для расчета жестких дорожных одежд в качестве нормативной принимают нагрузку группы А.

Расчетная нагрузка на колесо

$$P_p = P_n \cdot K_d, \quad (15.1)$$

где P_n – нормативная нагрузка, кН; K_d – коэффициент динамичности, принимаемый равным 1,2.

Допускается увеличивать расчетную нагрузку пропорционально коэффициенту перегрузки автомобиля K_p при соответствующем основании. Обычно $K_p \leq 1,2$.

Расчет конструкции осуществляют с учетом перспективной интенсивности и состава движения автомобилей на дороге. В расчете непосредственно учитывают долю суточной среднегодовой интенсивности движения, приходящуюся на расчетную наиболее загруженную полосу покрытия.

Приведение состава движения к расчетным нагрузкам группы А осуществляют по условию работоспособности жесткой одежды в целом и по условию работоспособности цементобетонного покрытия. Работоспособной одеждой считается конструкция, которая обладает некоторым запасом прочности на многократно повторяющееся действие расчетных автомобильных нагрузок, достаточным для обеспечения состояния покрытия по ровности в пределах нормативных допусков. В отношении покрытия запас прочности должен быть достаточным для обеспечения нормативной надежности покрытия по критерию трещиностойкости.

Осевые нагрузки отдельных автомобилей в составе движения определяют из паспортных данных на соответствующие автомобили.

Расчетные характеристики материалов конструктивных слоев жесткой дорожной одежды. Для устройства покрытий применяют бетоны тяжелый и мелкозернистый, отвечающие требованиям СНБ 5.03.01-02. Класс бетона по прочности назначают по табл. 15.3.

Таблица 15.3. Марки бетона для жестких дорожных одежд

Конструктивные слои	Проектные классы бетона по прочности на сжатие	Модуль упругости $E \cdot 10^3$, МПа
Однослойные покрытия, верхний слой двухслойных	$C^{25}/_{30} / C^{20}/_{25}$	32/29
Нижний слой двухслойных	$C^{20}/_{25} / C^{16}/_{20}$	29/28

Примечание. В числителе приведена прочность бетона для дорог I и II категорий, в знаменателе – для III.

Расчетную прочность бетона на растяжение при изгибе определяют с учетом нормативной надежности покрытия:

$$R_{pu} = R_u'' \cdot K_{ин} \cdot (1 - b_R \cdot C_R), \quad (15.2)$$

где R_u'' – нормативная прочность бетона на растяжение при изгибе, равная проектной марке, МПа; $K_{ин}$ – коэффициент нарастания прочности бетона во времени, равный 1,15; b_R – коэффициент, зависящий от заданного уровня надежности покрытия. Уровень надежности покрытия устанавливают в зависимости от длины плиты покрытия в пределах 0,5-0,85; C_R – коэффициент вариации прочности бетона на растяжение при изгибе, устанавливаемый по результатам испытания бетона.

Расчетный модуль упругости бетона принимается равным начальному модулю упругости бетона:

Проектная марка бетона	$C^{20}/_{25}$	$C^{25}/_{30}$	$C^{30}/_{37}$	$C^{35}/_{45}$
Расчетный модуль упругости $E \cdot 10^3$, МПа	28,0	32,0	33,0	35,0.

Допускается назначать модуль упругости бетона по данным испытаний образцов бетона при подборе его состава. Расчетный коэффициент Пуассона μ принимают равным 0,2.

Расчетный температурный коэффициент линейного расширения бетона принимают: на гранитном щебне $8 \cdot 10^{-6}$, на известняковом щебне – $6 \cdot 10^{-6}$. Допускается принимать и другие значения в зависимости от состава бетона и температурно-влажностных условий работы покрытия, обоснованные экспериментально.

Расчетные характеристики грунтов земляного полотна и материалов основания принимают такими же, как и при расчете нежестких дорожных одежд.

Последовательность расчета.

1. Назначают расчетный срок службы жесткой дорожной одежды T_n в соответствии с действующими нормами межремонтных сроков службы одежды.

2. Определяют суточную среднегодовую интенсивность движения автомобилей на наиболее загруженную полосу покрытия, приведенную к расчетным нагрузкам группы А по условию работоспособности дорожной одежды

$$N_p = k_p \cdot N_{c1} \cdot q^{T_n-1} \cdot \sum_1^{\omega} \alpha_i \cdot p_i, \quad (15.3)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий распределение транспортных средств по ширине проезжей части; N_{c1} – суточная среднегодовая интенсивность движения транспортного потока на дороге в первый год эксплуатации после строительства или ремонта одежды, авт/сут; q – показатель роста интенсивности движения во времени (обычно находится в пределах 1,05-1,15); ω – количество типов автомобилей в транспортном потоке; α_i – коэффициент приведения рассматриваемого автомобиля к расчетному группы А (табл. 15.4); p_i – доля автомобилей соответствующего типа в транспортном потоке.

Таблица 15.4. Значения коэффициентов приведения α_i

Нагрузка на ось, кН	Коэффициент приведения α_i	Нагрузка на ось, кН	Коэффициент приведения α_i
Одиночная ось		Спаренные оси	
40	0,033	80	0,09
50	0,078	100	0,20
60	0,15	120	0,40
70	0,27	140	0,70
80	0,45	160	1,20
90	0,70	180	1,60
100	1,00	200	2,40
120	2,65	220	3,60
140	3,80	240	4,50

3. Используя полученное значение интенсивности N_p , подбирают конструкцию дорожной одежды. Сначала по табл. 15.5 определяют толщину покрытия и материал основания дорожной одежды, а затем по табл. 15.1 – длину плиты. Данные, приведенные в таблицах, получены на основании многолетнего опыта эксплуатации цементобетонных покрытий.

Таблица 15.5. Значения мощности покрытия, см

Материал основания	Расчетная интенсивность движения на одну полосу движения N_p , авт/сут					
	> 3500	2500-3500	1700-2500	1000-1700	650-1000	350-650
Каменные материалы и грунты, укрепленные вяжущими	24	22	22	20	18	18
Щебень, гравий, шлак	–	–	22	20	18	18
Песок, песчано-гравийные смеси	–	–	–	22	20	18

4. Затем проверяют *трещиностойкость* покрытия подобранной конструкции при совместном действии температуры и транспортных нагрузок. Условие трещиностойкости покрытия в общем случае может быть записано в следующем виде:

$$N_{pm} / N_{\phi} \geq 1, \quad (15.4)$$

где N_{pm} – предельное количество приложений расчетных суммарных напряжений (σ_{pm}) от температуры и нагрузки группы А, вызывающее растрескивание покрытия. За расчетные температурные напряжения целесообразно принять максимальные напряжения, возникающие в плитах рассматриваемой конструкции; N_{ϕ} – фактическое количество приложений суммарных напряжений за нормативный межремонтный срок службы одежды, приведенных к расчетным значениям.

Температурные напряжения и напряжения от вертикальной нагрузки рассчитывают по формулам теории упругости для плит, лежащих на упругом основании или частично опертых на него. За расчетное сечение принимают середину края плиты по полосе наката.

Для определения фактического количества приложений расчетных напряжений N_{ϕ} необходимо знать повторяемость напряжений в покрытии от разных автомобилей в составе движения, а также численное значение и длительность температурных напряжений в покрытии.

Исследования показывают, что *воздействие автомобилей на покрытие* носит случайный характер в связи с различиями по использованию отдельных автомобилей по грузоподъемности и пробегу, по скорости движения отдельных автомобилей, жесткости рессор и давлению воздуха в шинах автомобилей, а также из-за отклонения проходов колес автомобилей от расчетного сечения (по ширине покрытия). Поэтому повторяемость напряжений в покрытии от автомобильных нагрузок целесообразно устанавливать на основании наблюдений за распределением проходов колес автомобилей по ширине покрытия и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния покрытия при действии подвижных нагрузок.

5. Приведение различных суммарных напряжений к расчетным осуществляют по степени их воздействия на дорожное покрытие (по условию работоспособности покрытия) с помощью кривых усталости материалов, которые в общем виде можно представить как

$$\sigma_{pm} / R_{pu} = f(N_i), \quad (15.5)$$

где σ_{pm} – фактическое суммарное напряжение на подошве покрытия от рассматриваемой нагрузки и температуры, МПа; N_i – число приложений нагрузок, вызывающих напряжение σ_{pm} , до разрушения образца материала.

Коэффициент приведения i -го напряжения к расчетному

$$\alpha_i = N_{pm} / N_i. \quad (15.6)$$

При приведении нагрузок учитывают характеристику цикла напряжения ρ в условиях совместного действия температуры и нагрузки

$$\rho = \frac{\sigma_m}{\sigma_p + \sigma_m}, \quad (15.7)$$

где σ_p – напряжение растяжения при изгибе на подошве плиты в расчетном сечении от автомобильной нагрузки, МПа; σ_m – температурное напряжение, МПа.

6. Непрерывно происходящие изменения напряженного состояния покрытия в связи с изменением прочности бетона, жесткости основания, состава и интенсивности движения учитывают разделением проектного срока службы дорожной одежды на отдельные отрезки времени и определением повторяемости расчетных суммарных напряжений (σ_{pm}) по каждому отрезку в отдельности с последующим суммированием полученных повторяемостей. В общем виде

$$N_{\phi} = \sum_1^{T_n} n \cdot N_i \cdot \sum_1^m \alpha_i \cdot \gamma_i, \quad (15.8)$$

где N_i – суточная среднегодовая интенсивность движения автомобилей в любой рассматриваемый год эксплуатации t , авт/сут; m – количество расчетных уровней суммарных напряжений в год; n – количество дней в году (365); γ_i – годовая повторяемость рассматриваемого уровня суммарных напряжений, в долях единицы ($\gamma_i < 1$).

7. В случае если $N_{pm}/N_{\phi} > 1$, запроектированное покрытие обладает повышенным запасом прочности. В этом случае увеличивают длину или снижают толщину плиты и вновь осуществляют оценку трещиностойкости покрытия. В случае если $N_{pm}/N_{\phi} < 1$, покрытие недостаточно трещиностойко и требуется увеличить толщину и уменьшить длину плиты.

8. Уточняется длина плиты покрытия на *основании технико-экономического расчета*. В Инструкции по проектированию (ВСН 197-83) и строительству (ВСН 139-80) цементобетонных покрытий отмечается, что проектные организации могут изменять длину плит против значений, полученных расчетом, при соответствующем технико-экономическом обосновании. При таком обосновании, например, принимают во внимание особенности образования поперечных трещин и незначительное их влияние на состояние покрытия по ровности в процессе эксплуатации цементобетонных покрытий.

Опыт эксплуатации покрытий свидетельствует, что со временем не происходит одновременного растрескивания всех плит цементобетонного покрытия из-за неоднородности свойств материалов дорожной одежды. Чем меньше длина плит, тем меньше и количество трещин в любой рассматриваемый момент времени.

Например, вероятность растрескивания плит $p(T)$ покрытия толщиной 20 см можно представить следующей эмпирической зависимостью

$$p(T) = 0,01 \cdot K \cdot N_{\Sigma}^x, \quad (15.9)$$

где N_{Σ} – количество проходов расчетного автомобиля группы А, тыс. ед.; K и x – постоянные, зависящие от длины плиты L . Например, для покрытия, устроенного на песчаном основании, при изменении длины плиты с 5 до 8 значение K меняется от 0,000008 до 0,0094, а x – от 1,725 до 1.

Основываясь на приведенной зависимости, можно утверждать, что с уменьшением длины плиты повышается надежность покрытия и сокращаются затраты на ремонт покрытия, но увеличиваются затраты на устройство и содержание швов. При увеличении длины плиты, наоборот, уменьшаются затраты на устройство и содержание швов, но увеличиваются затраты на ремонт покрытия в связи с уменьшением его надежности. В этих условиях всегда имеется оптимальное решение по критерию минимума суммарных затрат на устройство швов $C_{ш}$, ремонт (разделку) трещин \mathcal{E}_p , и периодическое заполнение швов $\mathcal{E}_{ш}$ и трещин \mathcal{E}_m герметиками

$$C_{ш} + \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_{ш} + \mathcal{E}_m = C \Rightarrow \min. \quad (15.10)$$

Отдаленность затрат на ремонт и содержание для упрощения расчетов можно не учитывать. Учет отдаленности приводит к незначительному увеличению оптимальной длины плиты.

Из расчета на 1 км покрытия и при условии ежегодного содержания швов и трещин

$$C = (C'_{ш} + \mathcal{E}'_{ш} \cdot T_n) \cdot \left(\frac{1000}{L} + 1 \right) + \left(\mathcal{E}'_p \cdot p(T_n) + \mathcal{E}'_m \cdot \sum_1^{T_n} p(T_i) \right) \cdot \frac{1000}{L}, \quad (15.11)$$

где $C'_{ш}$, $\mathcal{E}'_{ш}$, \mathcal{E}'_p , \mathcal{E}'_m – затраты, относящиеся к одному шву или трещине, у.е.; $p(T_n)$ и $p(T_i)$ – соответственно вероятности растрескивания плит длиной L в конце расчетного периода эксплуатации и через T_i лет.

Для примера на рис. 15.7 показаны результаты расчетов по приведенной методике для цементобетонного покрытия толщиной 20 см, устроенного на песчаном основании.

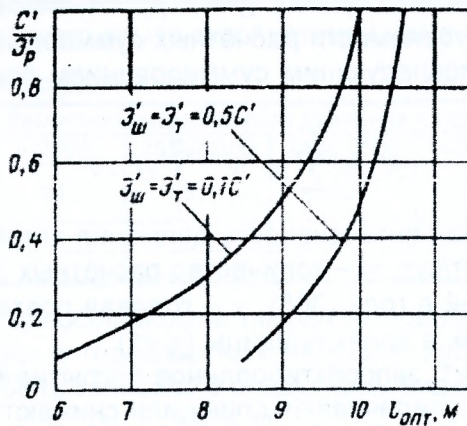


Рис. 15.7. Оптимальная длина плиты в зависимости от соотношения затрат на устройство швов и первоначальный ремонт (разделку) трещин, затрат на периодическое заполнение швов и трещин герметиками в период эксплуатации дороги (при $T_n = 30$ лет)

15.5. Основные критерии расчета жестких дорожных одежд

В практике дорожного проектирования расчет жестких одежд дополнительно ведется по следующим критериям.

1. Определение напряжений в цементобетонном покрытии от внешней нагрузки.

При оценке трещиностойкости покрытия на совместное действие температуры и нагрузки важно с достаточной точностью определить напряжения от действующих факторов. Прежде всего необходимо рассматривать напряжения, развивающиеся в цементобетонном покрытии от внешней нагрузки.

Прямоугольная плита монолитного или сборного покрытия с любым отношением сторон в плане, загруженная центральной нагрузкой, равномерно распределенной по прямоугольному отпечатку любого размера с любым отношением его сторон, параллельных сторонам плиты, может быть рассчитана с помощью специальных таблиц академика Б. Г. Галлеркина.

В тех случаях, когда форма отпечатка нагрузки не может быть представлена кругом или квадратом (трейлеры, катки, машины на гусеничном ходу) используют принцип независимости действия и суммируют влияние сил, прикладываемых в центрах тяжести малых участков, на которые поделены отпечатки нагрузок (рис. 15.8). Расчетных сечений может быть несколько, если учитывается несколько нагрузок. В этом случае расчетные сечения находятся под центрами отпечатков этих нагрузок, и тогда выбирают то из этих сечений, где главные напряжения будут наибольшими.

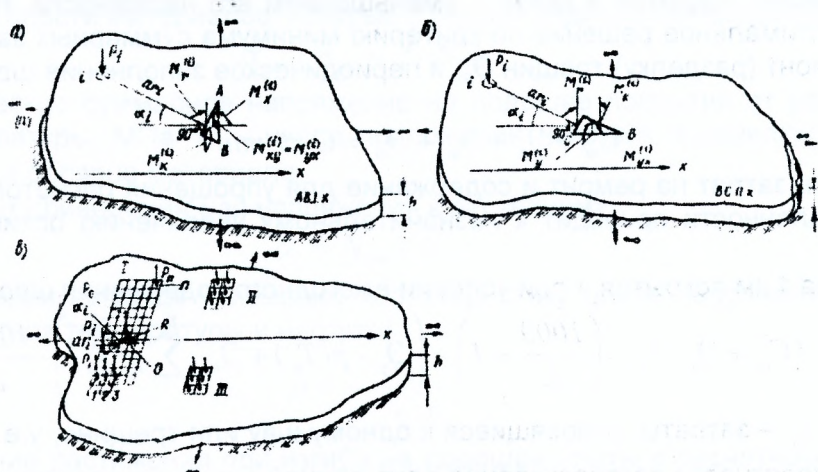


Рис. 15.8. Схема к определению моментов в расчетном сечении плиты от системы грузов: I, II, III – отпечатки нагрузок (форма и число отпечатков любое)

2. Определение разрушающей нагрузки для плит цементобетонного покрытия.

Определение разрушающей нагрузки представляет интерес для выявления действительных коэффициентов запаса прочности, которые получаются при сравнении эксплуатационных нагрузок с нагрузками, вызывающими разрушение плиты. Определение этой величины представляет интерес при решении вопроса о пропуске по цементобетонному покрытию сверхнормативных тяжеловесных нагрузок, способных вызвать чрезмерные активные напряжения сдвига и остаточные деформации в основании и грунте земляного полотна и, в конечном итоге, привести к значительным перекосам плит и вертикальным смещениям плит в швах.

Результаты, близкие к данным экспериментальных исследований для центральной части бетонной плиты, дает формула для определения разрушающей нагрузки

$$P_p = \frac{\pi \cdot R_{pu} \cdot K \cdot m \cdot h^2}{3 \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{p_0 - \gamma \cdot h}{p}} \right)}, \quad (15.12)$$

где R_{pu} – нормативное сопротивление бетона растяжению при изгибе, МПа; K – коэффициент однородности бетона; m – коэффициент условий работы; h – толщина плиты, м; p_0 – предельное вертикальное давление на основание в зоне разрушения плиты, МПа; γ – плотность бетона, МН/м³; p – давление нагрузки на поверхность ее отпечатка, принятое равномерным, МПа.

Значение p_0 должно быть определено из опытов над различными видами подстилающих грунтов при разных климатических и гидрогеологических условиях. Если p_0 не известно, то в приближенных расчетах и при весьма слабых основаниях можно в формуле (15.12)

пренебречь величиной $\sqrt[3]{\frac{p_0 - \gamma \cdot h}{p}}$. Для приближенного учета p_0 можно воспользоваться

значениями нормативных давлений на грунты основания.

3. Определение напряжений в цементобетонном покрытии по экспериментальным прогибам. На поверхности покрытия в исследуемой области разбивают прямоугольную сетку (рис. 15.9) со сторонами Δx , Δy небольшой длины, тем меньше, чем больше точность приборов, используемых для измерения прогибов. Определив разность отметок в вершинах сетки до и после действия нагрузки, т.е. прогибы W_a, W_b, W_c, W_d и т. д., получим возможность выразить нормальные горизонтальные касательные напряжения в крайних точках поперечного сечения, проходящего через центральный узел сетки i .

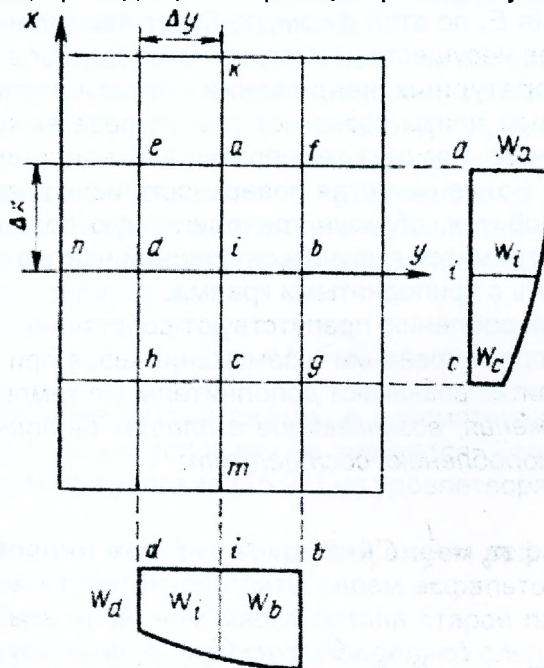


Рис. 15.9. Схема к определению напряжений на основе натурных измерений

Располагая значениями этих напряжений, получаем возможность проверить прочность в сечении i по известным теориям прочности.

Из изложенного видно, что оценивать прочность покрытия следует по девяти упругим прогибам, измеренным в девяти точках, расположенных по схеме, представленной на рис. 15.9.

4. Определение эквивалентного модуля упругости и коэффициента поперечной деформации многослойного основания под жестким дорожным покрытием. Предполагается, что дорожная плита лежит на упругом основании из конечного числа неоднородных слоев разной толщины. Эквивалентные значения модуля упругости E_3 и коэффициента поперечной деформации μ_3 позволяют заменить многослойную толщу однородным слоем в пределах глубины активной зоны основания. Деформации материалов в слоях считаются малыми. Каждый слой деформируется по линейному закону в соответствии со своими упругими характеристиками. Эквивалентный модуль упругости

$$E_3 = \frac{1}{\delta_1} \cdot \sqrt{A \cdot (1 - 2 \cdot \mu_3^2)}, \quad (15.13)$$

где δ_1 – вертикальные смещения в слоях, м; A – эмпирический коэффициент; μ_3 – средневзвешенное значение коэффициентов Пуассона (поперечной деформации) материалов слоев

$$\mu_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (15.14)$$

где μ_i – коэффициент Пуассона материала i -го слоя; h_i – толщина этого слоя, см; n – число слоев (определение μ_3 по формуле (15.14) допустимо, поскольку значения μ_i в слоях, как правило, несильно различаются между собой).

Часто в качестве E_3 используется средневзвешенная величина

$$E_3 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (15.15)$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя (счет слоев сверху вниз), МПа.

Результаты определения E_3 по этой формуле будут приемлемыми, если модули упругости и толщины разных слоев несущественно отличаются друг от друга.

5. Определение температурных напряжений. Неравномерное распределение температуры по толщине бетонной плиты возникает при нагреве ее поверхности солнечными лучами и при охлаждении ночью. Разница температур верхней и нижней поверхностей плиты может достигать 15-20°C. Более нагретая поверхность испытывает большее удлинение, в результате чего плита коробится, образуя криволинейную поверхность. При нагревании верхней поверхности плита стремится выпучиться средней частью вверх, а при охлаждении образует вогнутую поверхность с приподнятыми краями.

Поскольку свободному короблению препятствуют собственный вес плит и их взаимная заклинка, из-за расширения при нагревании и замыкания швов при изгибе, а также наличия соединительных штырей в плитах возникают дополнительные температурные напряжения.

Температурные напряжения, возникающие в плитах бетонных покрытий в результате противодействия их короблению, составляют:

– для края плиты

$$\sigma_o = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot E \cdot \alpha \cdot (t_n - t_a), \quad (15.16)$$

– для середины плиты:

$$\sigma_x = \frac{1}{2} \cdot E \cdot \alpha \cdot \frac{C_x + \mu \cdot C_y}{1 - \mu^2} (t_n - t_a), \quad (15.17)$$

$$\sigma_y = \frac{l}{2} \cdot E \cdot \alpha \cdot \frac{C_y + \mu \cdot C_x}{1 - \mu^2} (t_n - t_a), \quad (15.18)$$

где E , μ – модуль упругости (МПа) и коэффициент Пуассона материала плиты; α – коэффициент температурного линейного расширения этого материала; t_n , t_a – температура нижней и верхней поверхностей плиты соответственно, °С; σ_x – напряжения в направлении длины плиты l , МПа; σ_y – напряжение в направлении ширины плиты B , МПа; C_x , C_y – параметры, характеризующие сопротивление коробления плиты в указанных направлениях соответственно

Если $t_a > t_n$, то наибольшие растягивающие напряжения будут в точках нижней поверхности плиты, а при $t_a < t_n$, такие же напряжения будут в точках верхней поверхности. В условиях полной невозможности коробления будем иметь $C_x = C_y = 1$.

Исследования показывают, что отклонение температурных изменений от линейного закона обычно несущественно влияет на температурные напряжения.

6. Устойчивость плит бетонных дорожных покрытий при повышении температуры. Необходимость устройства деформационных швов в бетонных покрытиях определяется степенью повышения температуры во время эксплуатации.

Критическое повышение температуры (температурный скачок) Δt_k по отношению к температуре во время укладки бетонного покрытия определяется:

– без закреплений плиты по краям

$$\Delta t_k = \frac{0,577}{\alpha \cdot C^2 \cdot \sqrt[6]{1 - \mu_0^2}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{E_0}{E}\right)^2}, \quad (15.19)$$

где E_0 , μ_0 – модуль упругости (МПа) и коэффициент Пуассона подстилающего основания; при многослойном основании $E_0 = E_3$, $\mu_0 = \mu_3$; E , μ – модуль упругости (МПа) и коэффициент Пуассона материала плиты; α – коэффициент линейного температурного расширения (для цементобетона $\alpha = 0,00001$); C – эмпирический параметр;

– при закреплении плиты по трем сторонам, четвертая сторона (у обочины) свободна от закрепления

$$\Delta t_k = \frac{h^2}{\alpha \cdot (1 + \mu) \cdot b^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot b^2}{12 \cdot l^2} + \frac{k \cdot b^2 \cdot l^2 \cdot (1 - \mu^2)}{\pi^2 \cdot E \cdot h^3} + \frac{1 - \mu}{2} \right], \quad (15.20)$$

где h – толщина плиты, см; b – размер плиты в направлении ширины дороги, см; l – размер плиты в направлении оси дороги, см; k – эмпирический коэффициент; E , μ – модуль упругости (МПа) и коэффициент Пуассона материала плиты.

Приведенные формулы обычно дают результаты, по которым можно заключить, что критический скачок температуры маловероятен в умеренном климатическом поясе при устройстве покрытия в условиях положительных температур. Кроме того, если температура растет в течение длительного времени, то проявляется релаксация сжимающих напряжений. Это будет означать уменьшение вероятности продольного изгиба.

Вопрос о швах расширения в связи с изложенным решается следующим образом. Если ко времени появления высоких температур уложенный бетон набрал достаточную прочность на сжатие, когда сжимающее напряжение

$$\sigma_c = \frac{E \cdot \alpha}{1 - \mu} \cdot \Delta t_k \leq R_c, \quad (15.21)$$

где R_c – расчетное сопротивление бетона сжатию в рассматриваемом возрасте (МПа), то швов расширения по температурным условиям не требуется. Если же к этому времени бетон является свежеложенным или условие (15.21) не удовлетворяется, то швы расширения необходимы.

7. Прочность при усилении жестких покрытий слоем асфальтобетона или цементобетона. При усилении цементобетонной плиты слоем асфальтобетона или цементобетона, марка которого может быть иной, чем марка бетона старой плиты, возникает вопрос о необходимой толщине слоя усиления h_1 , которую определяют следующим образом

$$h_1 = (C_1 \cdot H - h_2) \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{(1 - \mu_1^2) \cdot K_g'}{(1 - \mu_2^2) \cdot K_g}}, \quad (15.22)$$

где $C_1 \geq 1$ – коэффициент, учитывающий слоистость цементобетонной плиты, способы и качество наращивания, состояние усиливаемого слоя; H – толщина однослойной цементобетонной плиты, необходимая при расчетной нагрузке, см; h_2 – толщина старого слоя, см; E_2 , μ_2 – модуль упругости (МПа) и коэффициент Пуассона материала старого слоя; E_1 , μ_1 – то же для материала слоя усиления; K_g' , K_g – коэффициенты динамичности для покрытий из нового и старого слоев соответственно (при отсутствии данных об этих коэффициентах можно принять $K_g' = K_g = 1$).

В случае усиления цементобетоном: $\mu_1 = 0,15-0,20$, а при усилении асфальтобетоном μ_1 зависит от температуры:

$t, ^\circ\text{C}$	+15	+10	+5	-10	-20
μ_1	0,28	0,22	0,15	0,10	0,08.

Коэффициент C_1 эмпирический, приблизительно при удовлетворительном состоянии усиливаемого слоя (без разрушения) и при возможности взаимного проскальзывания слоев, его можно определить по формуле

$$C_1 = \frac{1}{2} \cdot (1 + \sqrt[3]{n^2}), \quad (15.23)$$

где n – число слоев. При прочном сращивании слоев $C_1 = 1$.

Определение толщины слоя усиления по формуле (15.23) не исключает необходимости проверки прочности усиленного покрытия, так как эта формула дает только возможность обоснованно назначать толщину слоя усиления по условиям допустимых прогибов (второе предельное состояние).

8. Устойчивость положения плиты со свободными краями при нагрузке от транспортных средств. Рассматривается дорожная прямоугольная плита со свободным контуром. Требуется проверить устойчивость ее положения на грунте при заданных размерах. Учитывается наиболее невыгодное расположение временной многоколесной нагрузки, когда одно колесо находится на углу плиты, а остальные колеса рассматриваемого ряда расположены у ее края (рис. 15.10). В учитываемом ряду колеса являются наиболее тяжелыми. Прочие ряды колес переместились на соседнюю плиту. Принимая во внимание несущественные деформации жестких покрытий, данное расположение нагрузки и свободный контур плиты, заключаем, что в этом случае упругие прогибы и кривизны плиты будут сконцентрированы у загруженного края, и не будут иметь существенного значения для большей части плиты, вдали от этого края.

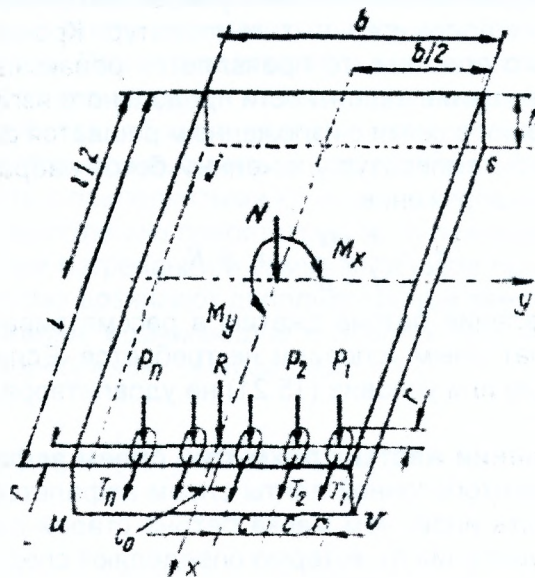


Рис. 15.10. Расположение временной многоколесной нагрузки на плите

Принимается, что уплотнение грунта в основании плиты обеспечивает его работу в пределах квазилинейных упругих деформаций. При указанных условиях может быть принята линейная эпюра нормальных напряжений в подошве плиты и использованы уравнения равновесия для абсолютно жесткого тела. Из этих уравнений получится известная формула нормальных напряжений при внецентренном действии сил

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x, \quad (15.24)$$

где N – нормальная сила, кН; σ – нормальное напряжение в некоторой точке подошвы плиты ($\sigma > 0$ при сжатии), МПа; M_x, M_y – моменты относительно координатных осей x и y соответственно, кН·м; F – площадь плиты в плане, м²; x, y – координаты точек подошвы плиты, м;

I_x, I_y – моменты инерции площади подошвы: $I_x = \frac{l \cdot b^3}{12}$, $I_y = \frac{l^3 \cdot b}{12}$, м⁴; l, b – размеры плиты в плане, м.

Условия устойчивости положения плиты:

– первое условие устойчивости будет обеспечено, если по всей подошве плиты напряжения будут сжимающими (положительными) и лишь в наиболее указанной точке края, с обратной стороны от расположения нагрузки, напряжение может быть нулевым $\sigma_j \geq 0$, где j – упомянутая угловая точка; ее координаты: $x_j = -l/2$; $y_j = -b/2$;

– второе условие состоит в том, что наибольшее по абсолютному значению напряжение не должно превосходить предельного для данного вида грунта при сжатии: $|\sigma_v| \leq \sigma_{пред}$, где V – наиболее нагруженная угловая точка плиты; ее координаты: $x_v = l/2$; $y_v = b/2$; $\sigma_{пред}$ – расчетное сопротивление грунта при сжатии, МПа;

– по третьему условию вертикальное смещение наиболее нагруженного угла плиты $W_v = |\sigma_v| \cdot K \leq W_{пред}$, где K – коэффициент, зависящий от типа грунта; $W_{пред}$ – нормативный предельный упругий прогиб, МПа.

При несоблюдении условий устойчивости размеры плиты требуется увеличить или устроить контурные связи плиты с соседними плитами.

16. ПЕРЕСЕЧЕНИЯ И ПРИМЫКАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

16.1. Пересечения дорог в одном уровне

Участки пересечения автомобильных дорог в одном уровне между собой или с железными дорогами *более загружены*, чем остальная их протяженность, поскольку интенсивность движения по пересечению равна сумме интенсивностей по пересекающимся дорогам.

Условия движения по пересечениям для автомобилей, следующих по прямым направлениям, осложняются помехами, создаваемыми маневрами поворота отдельных автомобилей.

Возможные траектории движения автомобилей на пересечении в одном уровне (рис. 16.1) образуют 16 точек пересечений, 8 точек разветвлений и 8 точек слияния потоков. В этих точках, называемых *конфликтными*, возможны столкновения автомобилей. Чем выше интенсивность движения по пересекающимся дорогам и чем больше доля автомобилей, совершающих маневры правого и особенно левого поворотов, тем выше опасность возникновения дорожно-транспортных происшествий.

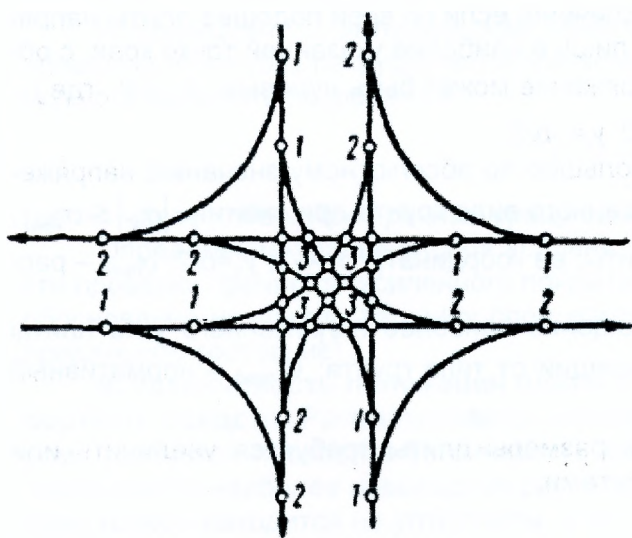


Рис. 16.1. Места пересечения и слияния потоков движения на пересечении в одном уровне:
1 – точки разделения потоков движения;
2 – точка слияния потоков движения;
3 – точки пересечения потоков движения

Пересечения дорог в одном уровне, как наиболее опасные участки, *следует располагать* в местах с хорошо обеспеченной видимостью, на прямых, желательно в пониженных местах продольного профиля. В *одном уровне* разрешается устраивать пересечения дорог II категории с дорогами IV и V категорий, а также дорог III, IV и V категорий между собой, если перспективная суммарная интенсивность движения на пересечении не превышает 8000 приведенных авт./сут.

Наиболее эффективным мероприятием по улучшению условий движения в одном уровне является *канализирование движения* – выделение для каждого направления движения самостоятельной полосы на проезжей части. Его можно осуществить:

- 1) *устройством направляющих островков*, возвышающихся или изображенных на покрытии краской;
- 2) *выделением дополнительных полос для ожидания автомобилями* возможности осуществления левых поворотов без помех для автомобилей, следующих в прямом направлении;
- 3) *устройством на проезжей части дополнительных полос* для плавного изменения скорости поворачивающих автомобилей.

Основным конструктивным решением для четкого выделения потоков движения и разделения конфликтных точек являются *каплевидные* вытянутые («обтекаемые») *островки*. Они хорошо выявляют планировочное решение пересечений и облегчают плавное огибание островка по кривой большого радиуса при левом повороте (рис. 16.2).

Для выбора типа пересечений используют график, который устанавливает рациональную область использования каждого типа пересечений с учетом минимальных потерь автомобильного транспорта от ожидания возможности проезда (рис. 16.3).

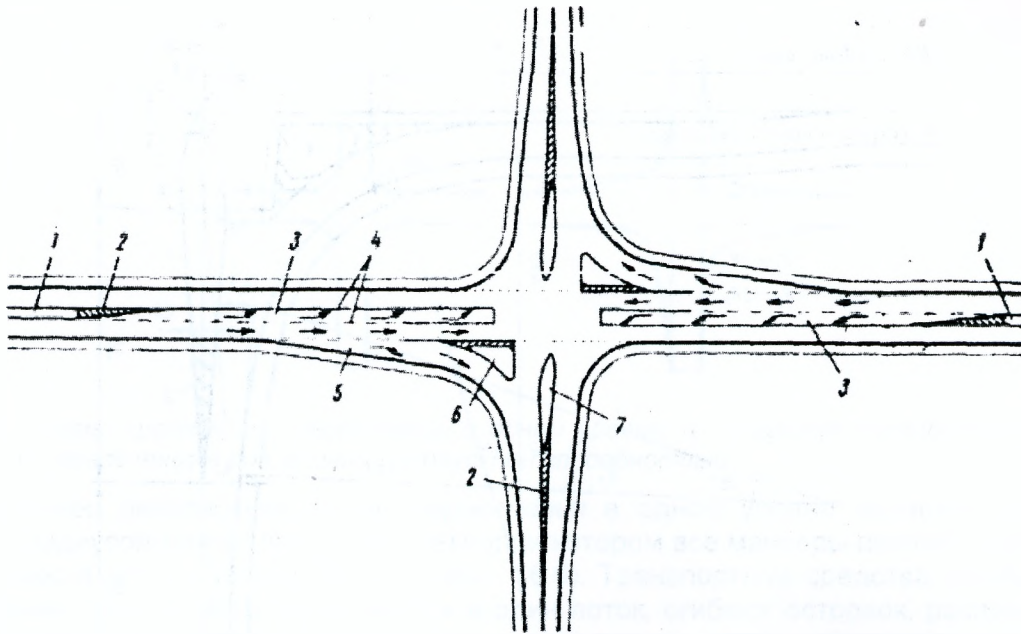


Рис. 16.2. Пересечения в примыкания дорог с канализованным движением: 1 – разделительная полоса; 2 – островки, нанесенные на покрытие краской; 3 – дополнительная полоса проезжей части для автомобилей, ожидающих левого поворота; 4 – линия разметки; 5 – полоса для правого поворота на главной дороге; 6 – треугольные островки; 7 – каплевидные островки

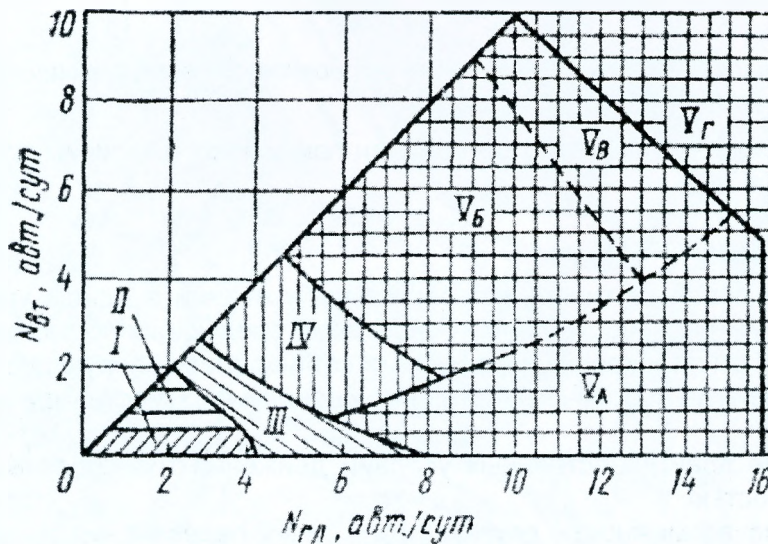


Рис. 16.3. График для выбора схемы пересечения: $N_{гл}$, $N_{вл}$ – интенсивности движения по главной и второстепенной дорогам; I – простые необорудованные пересечения; II – частично канализованные пересечения с направляющими островками на второстепенной дороге; III – канализованные пересечения с направляющими островками на второстепенной и главной дорогах и переходно-скоростными полосами на главной дороге; IV – кольцевые пересечения; V_A – кольцевые пересечения, обеспечивающие лучшие условия движения по наиболее загруженному направлению; V_B – кольцевые пересечения с малым центральным островком; V_B – кольцевые пересечения как первый этап стадийного строительства, которые затем будут реконструированы в пересечения в разных уровнях; $V_Г$ – пересечения в разных уровнях

В районах с непродолжительным снеговым покровом островки устраивают возвышающимися на 10-15 см над проезжей частью, обозначая их скошенный бордюр черно-белыми полосами. В районах с длительной зимой и обильными снегопадами, где возвышающиеся островки затрудняют механизированное удаление снега с покрытия, островки наносят на покрытие краской.

Очертание островков и планировка съездов должны соответствовать траектории движения автомобилей (рис. 16.4). При проектировании плана пересечения дорог раньше использовали комплекты прозрачных лекал, в настоящее время – ЭВМ.

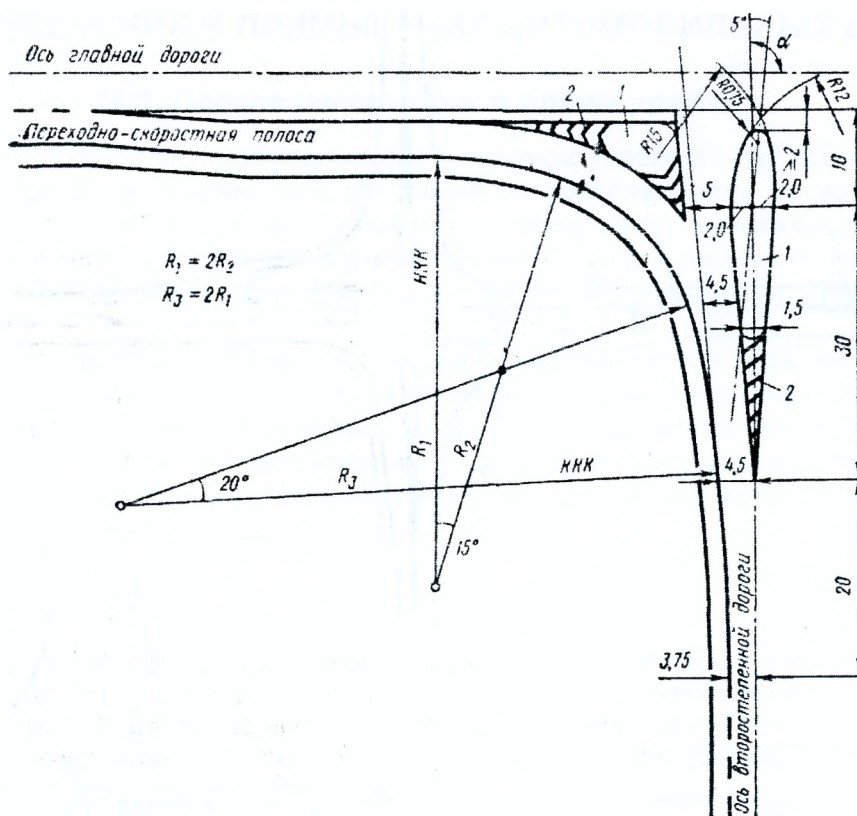


Рис. 16.4. Разбивка каплевидного и треугольного островков: 1 – возвышающийся островок; 2 – полосы разметки, намеченные на покрытии краской

Ширину проезжей части между островками принимают в зависимости от радиуса кривой на съезде:

радиус кривой, м	10	15	20	30	40	50	60;
ширина полосы движения, м	5,2	5,0	4,8	4,7	4,5	4,5	4,2.

При выборе и привязке типовых проектов пересечений в одном уровне необходимо учитывать состав и интенсивность движения потоков, следующих по разным направлениям. Желательно, чтобы при планировке пересечений соблюдались следующие условия:

- 1) соответствие угла пересечения лучшим условиям видимости (примыкание под углом не менее 60-75°);
- 2) обеспечение преимущественных условий движения транспортным потокам с наибольшей интенсивностью;
- 3) удаление по возможности друг от друга точек пересечения потоков движения на площади пересечения путем устройства разделяющих их островков;
- 4) выделение части площади пересечения, не используемой потоками автомобилей в резервные зоны. Избыточная ширина полос движения нарушает его четкость;
- 5) при большой доле автомобилей, совершающих левый поворот, устройство дополнительной полосы, на которой они под прикрытием островка могли бы дожидаться возможности поворота, не препятствуя движению автомобилей, следующих в прямом направлении;
- 6) размещение направляющих островков на пересечениях и примыканиях, таким образом, чтобы в каждый момент времени водителю предоставлялось для выбора не более двух направлений движения: прямое и поворот.

Пропускная способность простейших пересечений в одном уровне зависит от радиуса кривых, сопрягающих дороги. В Беларуси принимают радиус по внутренней кромке проезжей части от 15 м для дорог IV и V категорий до 25 м для дорог I и II категорий (рис. 16.5а).

На Западе имеют распространение несимметричные пересечения в одном уровне, которые обладают повышенной пропускной способностью. Они имеют большую ширину на участках въезда, чем на полосах выезда (рис. 16.5б). Из-за улучшения условий включения в транспортный поток совершающих поворот автомобилей их пропускная способность возрастает примерно на 30%.

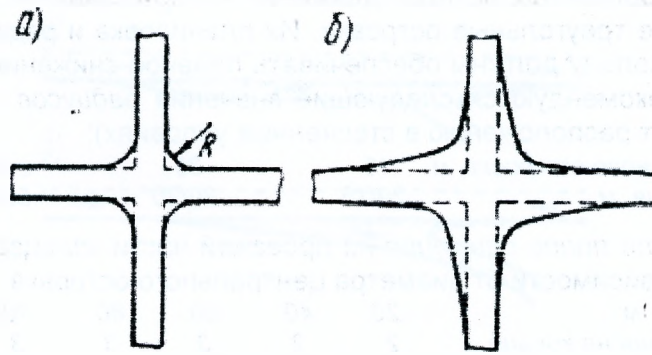


Рис. 16.5. Схемы простейших пересечений в одном уровне: а – обычное пересечение; б – несимметричное пересечение с повышенной пропускной способностью

Наиболее безопасным типом пересечения в одном уровне является кольцевое с большим радиусом центрального островка, при котором все маневры автомобилей сводятся к включению в поток и выходу из него (рис. 16.6). Транспортные средства, прибывающие к пересечению по всем дорогам, сливаясь в один поток, огибают островок, расположенный в центре пересечения. Размеры кольца назначают такими, чтобы обеспечивалась заданная скорость движения по нему, а участки кольца между пересекающимися дорогами имели длину, обеспечивающую возможность свободной перегруппировки автомобилей, вливания их в кольцевой поток и выхода в нужном направлении.



Рис. 16.6. Пример кольцевого пересечения в одном уровне

Движение автомобилей по кольцу в одном направлении обеспечивает четкую организацию и придает ему упорядоченность. Однако кольцевые пересечения занимают большую площадь, а в связи с непрерывно происходящими на них перегруппировками автомобилей скорость движения существенно снижается по сравнению со скоростью на подходах.

Расчетная скорость движения по кольцевой проезжей части зависит от диаметра центрального островка:

диаметр центрального островка, м	≤15	30	≥60;
скорость, км/ч	20	25	30.

Поэтому широкое распространение имеют пересечения со средними (25-60 м) диаметрами центрального островка, на которых траектории движения пересекаются под острыми углами, и с малыми (<15 м) диаметрами островков, предназначенными для того, чтобы вынудить водителей, огибая островок, снижать скорость движения до безопасного значения.

Для разделения встречных потоков движения на примыканиях дорог к островку устраивают направляющие треугольные островки. Их планировка и радиусы кривых на сопряжениях примыканий к кольцу должны обеспечивать плавное снижение скорости при въезде и выезде с кольца. Рекомендуются следующие значения *радиусов сопряжений* (меньшие значения соответствуют расположению в стесненных условиях):

диаметр центрального островка, м	15	30	≥ 60 ;
радиусы примыкания, м	20/15	30/20	50/35.

Необходимое число полос движения на проезжей части кольцевого пересечения и их ширину назначают в зависимости от диаметра центрального островка:

диаметр островка, м	20	40	60	80	100;
число полос движения на кольце	2	2	3	3	3;
ширина полосы движения, м	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5.

Долгое время кольцевые пересечения не находили применения на дорогах бывшего СССР. Их устраивали исключительно на городских площадях и на примыканиях магистралей к городам. В последние годы точка зрения изменилась, и кольцевые пересечения допускаются на дорогах всех категорий наравне с пересечениями в разных уровнях, иногда как первый этап их стадийного строительства.

Тип кольцевого пересечения зависит от интенсивностей движения на пересекающихся дорогах (см. рис. 16.3). На дорогах высших категорий рекомендуются пересечения с малыми центральными островками ($D < 25$ м) и увеличенным числом полос на въездах.

При суммарных интенсивностях движения от 5 тыс. до 9 тыс. авт./сут устраивают пересечения со средними островками ($D = 35-60$ м), а при числе пересекающихся дорог более 5 – с большими островками.

При различии интенсивностей движения более чем в 3 раза могут создаваться лучшие условия для движения по главному направлению путем устройства вытянутого островка.

16.2. Переходно-скоростные полосы

Проезд пересечений осуществляется с меньшей скоростью, чем примыкающих к ним участков дорог. Непосредственный въезд автомобиля на пересечение с высокой скоростью, равно как и выезд с пересечения на основную дорогу медленно движущихся автомобилей, создавали бы опасность дорожно-транспортных происшествий. Чтобы избежать этого на участках дорог, примыкающих к пересечению, устраивают *дополнительные полосы проезжей части*, отделяемые от основной проезжей части разграничительными линиями, наносимыми краской, а иногда и грунтовыми разделительными полосами. Дополнительные полосы дают возможность автомобилям, поворачивающим с основной дороги на примыкающую, заблаговременно, без помех для автомобилей, следующих в прямом направлении, снизить скорость, а автомобилям, въезжающим на магистральную дорогу, наоборот, разогнаться до скорости едущих по ней автомобилей. Эти дополнительные полосы движения называют полосами разгона и торможения, или *переходно-скоростными полосами*.

Строительные нормы и правила предусматривают устройство переходно-скоростных полос обязательно на съездах пересечений и примыканий в одном уровне на дорогах I-III категорий, если на дороге I категории по съезду проезжает более 50 приведенных авт./сут, а на дорогах II и III категорий – более 200 приведенных авт./сут. На пересечениях и примыканиях в разных уровнях на дорогах I-III категорий переходно-скоростные полосы обязательны.

Длину переходно-скоростных полос L (в метрах) назначают из условия изменения скорости автомобилей на основной дороге V_1 до скорости при выполнении маневра поворота

$V_2 \approx 20 \text{ км/ч} - L = \frac{V_1^2 - V_2^2}{26 a}$, принимая на основе наблюдений ускорение a автомобиля при раз-

гоне $0,8-1,2 \text{ м/с}^2$, при замедлении – $1,75-2,5 \text{ м/с}^2$. Практически в зависимости от категории дороги и продольного уклона на участке пересечения длина рабочей части переходно-скоростных полос составляет от 30 до 230 м (табл. 16.1).

Переходно-скоростные полосы по планировке бывают *двух типов*: *постоянной ширины*, параллельные основной проезжей части (рис. 16.7а); *плавно примыкающие* к проезжей части с постепенным уменьшением ширины (рис. 16.7б).

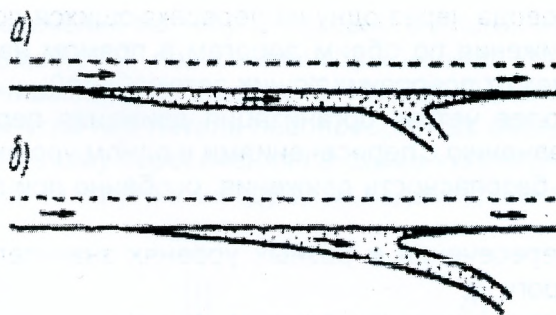


Рис. 16.7. Планировка переходно-скоростных полос

Таблица 16.1. Длина переходно-скоростных полос

Категории дорог	Продольный уклон, ‰, на		Длина полос полной ширины, м, для		Длина отгона полос разгона и торможения, м
	спуске	подъеме	разгона	торможения	
I-б и II	40	–	140	110	80
	20	–	160	105	80
	0	0	180	100	80
	–	20	200	95	80
	–	40	230	90	80
III	40	–	110	85	60
	20	–	120	80	60
	0	0	130	75	60
	–	20	150	70	60
	–	40	170	65	60
IV	40	–	30	50	30
	20	–	35	45	30
	0	0	40	40	30
	–	20	45	35	30
	–	40	50	30	30

Переходно-скоростные полосы *первого типа* устраивают на дорогах высших категорий, поскольку они обеспечивают наилучшую возможность изменения скорости. В этом случае полоса разгона состоит из двух частей:

- 1) участка изменения скорости и включения в поток движения (автомобиль на этом участке разгоняется до скорости транспортного потока и движется в ожидании интервала между автомобилями, который может быть использован для включения в поток);
- 2) участка постепенного уменьшения ширины на сопряжении переходно-скоростной полосы с покрытием основной проезжей части.

Второй тип переходно-скоростных полос пригоден для дорог с меньшей интенсивностью движения, когда вероятность включения в транспортный поток на основной дороге без выжидания интервала достаточно велика.

Ширину полос разгона и торможения принимают равной ширине полос движения на основной дороге.

16.3. Простейшие пересечения и примыкания дорог в разных уровнях

На дорогах с высокой интенсивностью движения обеспечение бесперебойности и безопасности движения требует устранения помех для транспортных потоков на пересечениях с другими дорогами путем строительства транспортных развязок в *разных уровнях*. Такие развязки *устраивают на пересечениях дорог I категории с дорогами всех категорий, дорог I-б и II категорий между собой и на примыканиях к ним, а также на пересечениях дорог II и III категорий между собой и дорог III категории между собой, если суммарная перспективная интенсивность движения превышает 8000 приведенных автомобилей в сутки.*

При устройстве пересечений в разных уровнях достигаются *следующие преимущества*:

- 1) устройство путепровода через одну из пересекающихся дорог позволяет легко пропустить потоки движения по обеим дорогам в прямом направлении без снижения скорости из-за помех от поворачивающих автомобилей;
- 2) обеспечивается более четкая организация движения пересекающихся транспортных потоков по сравнению с пересечениями в одном уровне;
- 3) резко повышается безопасность движения, особенно при осуществлении левых поворотов.

Однако устройство пересечения в разных уровнях значительно *увеличивает стоимость строительства* дороги.

На пересечениях в разных уровнях одна из основных пересекающихся магистралей проходит над другой по путепроводу. Правые повороты осуществляются беспрепятственно по так называемым *правоповоротным съездам*, на которых помехи при движении могут возникать при включении поворачивающих автомобилей в транспортный поток по пересекаемой дороге. Основные трудности, порождающие разнообразие схем пересечений в разных уровнях, вызываются сложностью организации левых поворотов, которые можно осуществлять одним из трех способов, показанных на рис. 16.8.

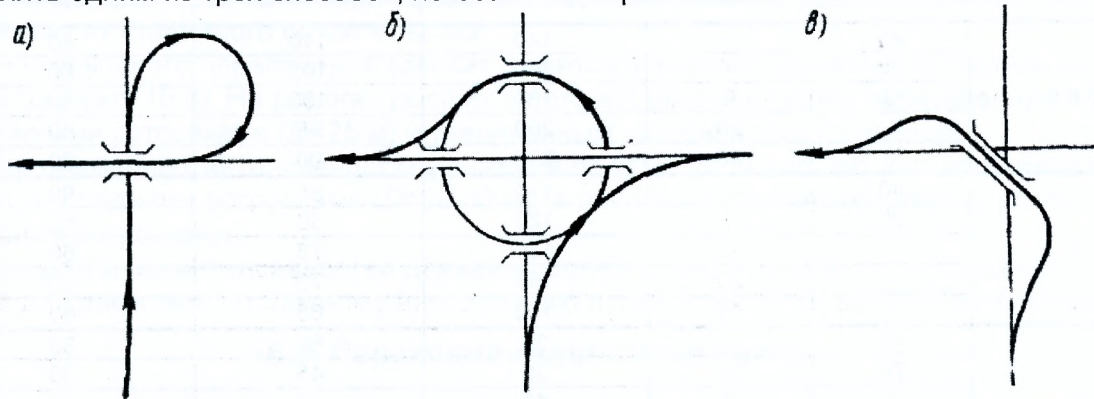


Рис. 16.8. Схемы осуществления левых поворотов на пересечениях в разных уровнях: а – при помощи правого поворота на 270° после проезда моста; б – по распределительному кольцу; в – по специальным левоповоротным съездам

Пересечения в разных уровнях также снижают пропускную способность дороги, хотя и в меньшей степени, чем пересечения в одном уровне, из-за помех, создаваемых выезжающими и въезжающими автомобилями. Поэтому въезды на дорогу должны быть расположены на дорогах Iа категории не чаще чем через 10 км, на дорогах Iб и II категорий – через 5 км и на дорогах III категории – через 2 км.

Наиболее простым и распространенным в настоящее время типом пересечений в разных уровнях является «клеверный лист» (рис. 16.9), в котором повороты налево осуществляются по левоповоротным петлям путем поворота направо на 270° после проезда моста.

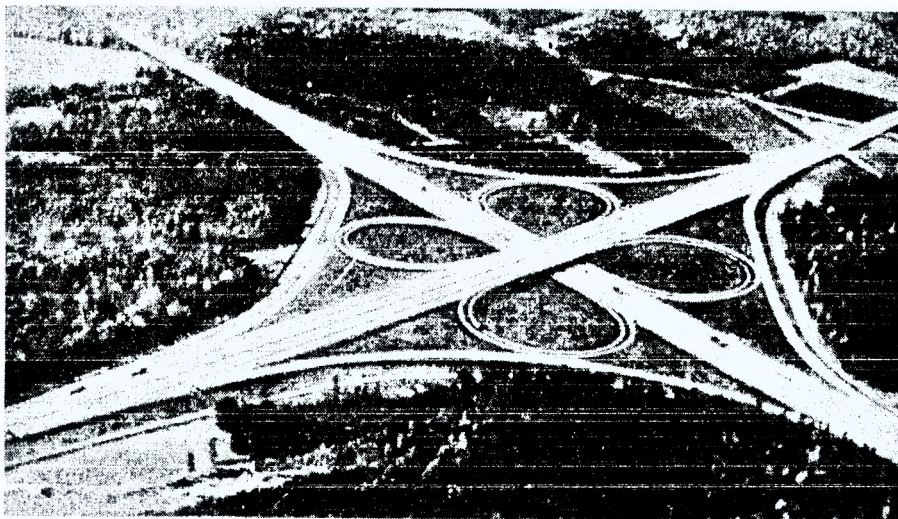


Рис. 16.9. Пример пересечения по типу «клеверного листа»

Недостатком пересечений по типу «клеверного листа» является значительное удлинение пути пробега автомобилей, поворачивающих налево, по сравнению с необходимым для автомобилей, сворачивающих направо (рис. 16.10а). Однако и для правоповоротных петель из-за размещения внутри них петель левоповоротных съездов приходится значительно удлинять пути съездов. Поэтому пересечения по схеме «клеверного листа» занимают значительную площадь, причем замкнутые между их съездами земельные участки трудно рационально использовать.

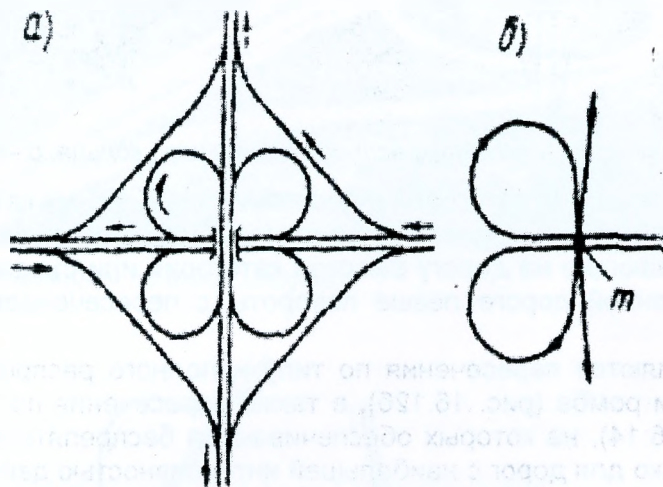


Рис. 16.10. Схема пересечения по типу «клеверного листа»: а – общая схема; б – переплетение поворачивающих транспортных потоков под мостом; *m* – конфликтная точка

Пересечения по типу «клеверного листа» имеют ограниченную пропускную способность из-за происходящих переплетений потоков автомобилей в точке *m* (рис. 16.10б). Переплетение возникает в пределах путепровода и под ним на участках примыкания левоповоротных петель, где одни автомобили входят в транспортный поток, а другие выходят из него. Так как эти маневры создают помехи транзитному потоку движения, то при большой доле поворачивающих автомобилей на пересечениях устраивают дополнительные полосы проезжей части. По достижении суммарной интенсивностью пересекающихся потоков автомобилей предельного значения 600-700 авт/ч, когда создаются настолько значительные взаимные помехи, что пропускная способность пересечений исчерпывается и перед съездами возникают очереди автомобилей, приходится вводить светофорное регулирование.

При пересечении дорог под острым углом, когда трудно вписать левоповоротные петли, применяют более сложную линейную схему, требующую строительства двух путепроводов (рис. 16.11).

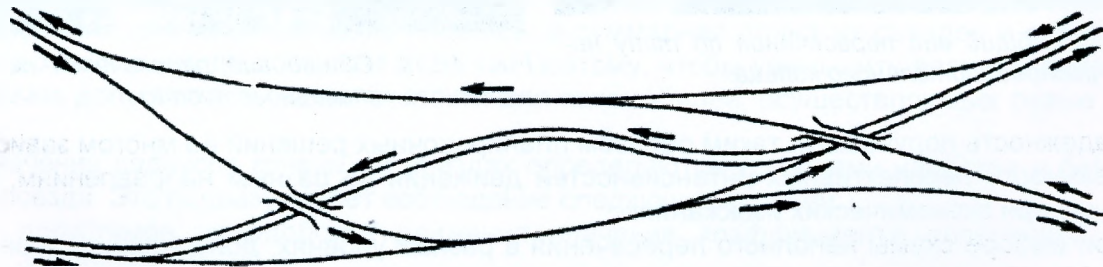


Рис. 16.11. Схема пересечения линейного типа

Пересечение с распределительным кольцом (рис. 16.12а) обеспечивает большие удобства для автомобилей, меняющих направление движения, так как кольцо имеет больший радиус, чем левоповоротные съезды на пересечении по типу «клеверного листа». Однако стоимость этого пересечения значительно выше в связи с необходимостью строительства пяти путепроводов и выполнения больших объемов земляных работ, поскольку кольцо располагается в высокой насыпи. Движение сопровождается частыми маневрами переплетения при въездах и съездах автомобилей.

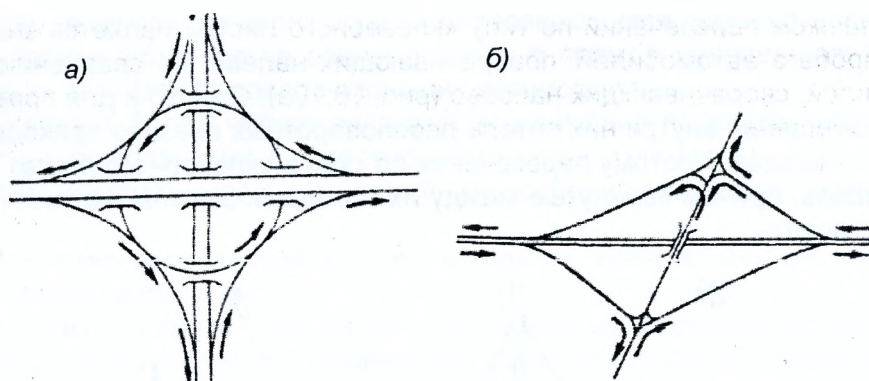


Рис. 16.12. Схемы пересечения: а – по типу распределительного кольца; б – по типу ромба

На пересечениях дорог I-III категорий с дорогами более низких категорий для снижения строительных расходов часто устраивают пересечения по упрощенной схеме, на которых автомобили, поворачивающие на дорогу высокой категории или съезжающие с нее, осуществляют на второстепенной дороге левые повороты с пересечением встречных потоков движения.

Примером их являются пересечения по типу неполного распределительного кольца (рис. 16.12а, 16.13) или ромба (рис. 16.12б), а также пересечения по типу неполного «клеверного листа» (рис. 16.14), на которых обеспечиваются беспрепятственные и безопасные условия движения только для дорог с наибольшей интенсивностью движения. Съезды с этих дорог устраивают обязательно. С второстепенной дороги, если интенсивность потока движения, поступающего с нее на магистраль, невелика, съезды в отдельных направлениях не устраивают. Немногочисленные автомобили, которым нужно попасть на магистраль, пользуются въездом для автомобилей, следующих в противоположном направлении, пересекая поток встречного движения.

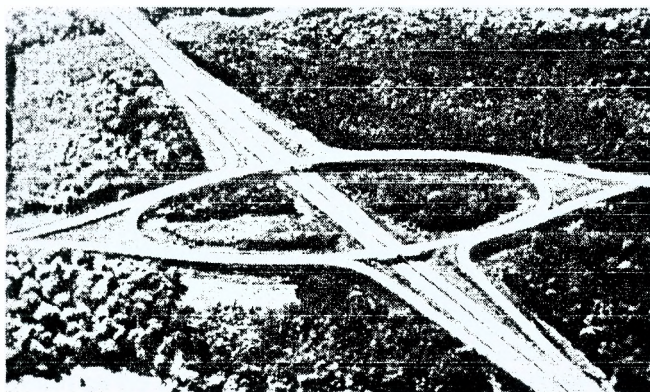


Рис. 16.13. Общий вид пересечения по типу неполного распределительного кольца



Рис. 16.14. Общий вид пересечения по типу неполного «клеверного листа»

Надежность получаемых таким образом планировочных решений во многом зависит от обоснованности перспективных интенсивностей движения по разным направлениям, установленных при экономических изысканиях.

При выборе схемы неполного пересечения в разных уровнях, допускающей пересечения в отдельных точках транспортных потоков, из всех возможных вариантов предпочтение следует отдать схеме, при которой возникает меньше помех для движения, а степень его безопасности выше. Для этой цели на основе эпюры интенсивностей движения по разным направлениям намечают несколько вариантов схем пересечения, для которых строят эпюры интенсивностей движения.

Опасность дорожно-транспортных происшествий и взаимных помех для движения оценивают суммой интенсивностей пересекающихся потоков. Чем меньше эта сумма, тем рациональнее схема пересечения.

Примыкания к автомобильным магистралям устраивают чаще всего по схемам «трубы» (рис. 16.15, рис. 16.16а) и «треугольника» (рис. 16.16б)



Рис. 16.15. Общий вид примыкания по типу «трубы»

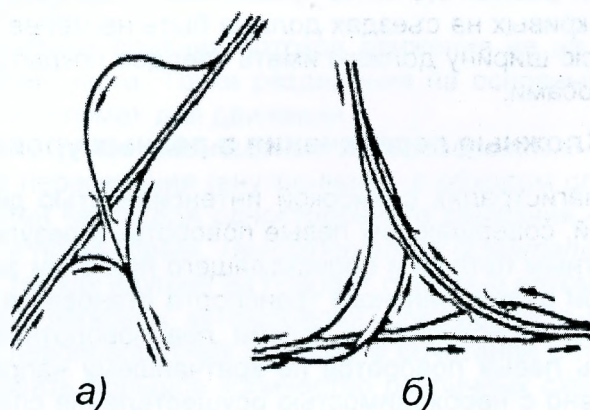


Рис. 16.16. Схемы примыкания по типу «трубы» (а) и «треугольника» (б)

Применяемые на пересечениях в разных уровнях типы путепроводов не должны ограничивать видимости дороги. В наиболее удачных конструкциях путепроводов отсутствует промежуточная опора на разделительной полосе.

16.4. Требования к элементам пересечений в разных уровнях

Пересечения дорог в разных уровнях – сложные и дорогостоящие сооружения, выбор схемы которых требует тщательного технико-экономического обоснования. Пересечения в разных уровнях занимают большую площадь, а суммарная длина их съездов и переходно-скоростных полос иногда достигает 2-2,5 км. Поэтому, чтобы уменьшить размеры пересечений, обычно допускают снижение скорости для автомобилей, осуществляющих левые повороты.

Значения радиусов кривых на съездах определяются условиями удобства и безопасности проезда. Это подразумевает соблюдение следующих условий:

- 1) допустимое из удобства движения значение коэффициента поперечной силы $\mu=0,15-0,17$;
- 2) удобство вписывания в петлю съезда автомобилей с прицепами;
- 3) удобство управления автомобилем при вписывании автомобилей в кривую во время входа с прямого участка на полосы съездов.

Въезд, сопровождающийся необходимостью крутого поворота с основной полосы движения, создает затруднения при управлении автомобилем и опасность съезда автомобиля с полосы проезжей части даже при небольшом превышении расчетной скорости.

Различие между расчетной скоростью движения на съездах и средней скоростью транспортного потока на основной дороге не должно быть слишком большим.

Рекомендуются расчетные скорости на въездах и съездах, приведенные в табл. 16.2.

Таблица 16.2. Рекомендуемые расчетные скорости на въездах и съездах

Характеристики пересечения	Значения параметров для категорий дорог		
	I	II	III
Расчетная скорость на съездах, км/ч:			
левоповоротных	≥ 50	≥ 50	≥ 40
правоповоротных	≥ 60	≥ 60	≥ 50
Продольный уклон на съездах, ‰	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Наименьшие радиусы кривых в плане на съездах, м:			
левоповоротных типа «клеверный лист»	60	60	50
правоповоротных	150	150	100
Наименьшие радиусы вертикальных кривых на пересечениях, м:			
выпуклых	2500	2500	1500
вогнутых	1500	1500	1200

Радиусы вертикальных кривых на съездах должны рассчитываться на скорости, допускаемые на элементах в плане. Съезды на пересечениях устраивают однопутными, но с увеличенной шириной проезжей части для пропуска автопоездов.

На левоповоротных петлях пересечений вне зависимости от их планировки *ширину проезжей части* принимают равной 5,5 м, на правоповоротных съездах – 5 м. Ширина обочин с внутренней стороны кривых на съездах должна быть не менее 1,5 м, а с внешней стороны – 3 м. Обочины на всю ширину должны иметь твердое покрытие и отделяться от проезжей части краевыми полосами.

16.5. Сложные пересечения в разных уровнях

На автомобильных магистралях с высокой интенсивностью движения, особенно при большой доле автомобилей, совершающих левые повороты, в результате перепробегов автомобилей по левоповоротным петлям и происходящего при этом значительного снижения скорости суммарные потери автомобильного транспорта становятся весьма ощутимыми. В таких случаях проектируют пересечения с такими левоповоротными съездами, которые обеспечивают возможность левых поворотов по кратчайшему направлению без снижения скорости. Однако это связано с необходимостью осуществления сложных и дорогостоящих сооружений *в трех или четырех уровнях* (рис. 16.17).



Рис. 16.17. Четырехъярусное пересечение левоповоротного типа

Их устраивают на автомобильных магистралях, суммарная интенсивность движения по которым составляет несколько сотен тысяч автомобилей в сутки. Как правило, схемы таких пересечений представляют одинаковые удобства для движения во всех направлениях и предполагают таким образом, что интенсивности движения во всех направлениях одинаковы, а дороги равнозначны по категориям.

На практике такие случаи сравнительно редки. Обычно интенсивности движения на съездах в разных направлениях существенно отличаются друг от друга. Это дает возможность снижать стоимость строительства пересечений путем индивидуального проектирования их схемы, обеспечивая большее удобство наиболее напряженным направлениям и меньшее для съездов, которыми пользуются мало автомобилей.

При выборе схемы пересечения дорог в *разных уровнях стремятся обеспечить следующие условия:*

- 1) преимущественное удобство движения для основных транспортных потоков по интенсивности и значимости. Съезды с этих дорог предусматривают обязательно;
- 2) безопасность и плавность разделения транспортных потоков;
- 3) отсутствие переплетения потоков движения на полосах проезжей части, предназначенных для автомобилей, следующих транзитом. Медленные грузовые автомобили, едущие по правой полосе движения, при перестроении для съезда с дороги не должны пересекать путь движения более быстрых;
- 4) выполнение маневров слияния потоков движения не на основных, а на дополнительных полосах проезжей части. Точки разделения на основных полосах хотя и нежелательны, но создают меньше помех для движения.

Возможны несколько типов *размещения левоповоротных съездов* по отношению к геометрическому центру пересечения (внутреннее – с обходом слева и внешнее – с обходом справа) и к проезжей части для одностороннего движения – правосторонние и левосторонние ответвления и примыкания. *Левосторонние ответвления неудобны* и опасны в условиях эксплуатации, так как идущие на поворот грузовые автомобили пересекают полосу движения более быстрых легковых автомобилей, следующих в прямом направлении. Восемь типов начертания левоповоротных съездов в сочетании с левоповоротными петлями дают возможность составить большое количество различных схем пересечений, многие из которых еще не были осуществлены на практике.

В связи с многообразием возможных схем компоновки пересечений в разных уровнях может быть использована буквенная система их обозначения путем последовательного описания способов примыкания левоповоротных съездов по четвертям окружности, начиная с первой (рис. 16.18). Ответвления и примыкания справа обозначаются буквой П, слева – Л; левоповоротная петля – буквой К. Внешний обход центра пересечения указывается буквой (П) внутренний – (Л). Симметричные пересечения можно обозначать сокращенно. «Клеверный лист» записывается как КККК, или 4К, а пересечение прямого левоповоротного типа – 4ПП (Л).

На рис. 16.19 дано несколько примеров сложных развязок, в которых пересечения всех транспортных потоков происходят в двух уровнях. Это связано с необходимостью отвода больших площадей земли и строительства восьми-девяти мостов.

Проектирование сложных пересечений в разных уровнях выполняется в такой последовательности:

- 1) вычерчивается эпюра интенсивностей движения по разным направлениям;
- 2) на ее основе намечаются варианты схем пересечения, стремясь создать наиболее благоприятные условия для проезда пересечения наиболее интенсивным поворачивающим транспортным потоком. Необходимо учитывать конфигурацию территории, которая может быть использована для строительства пересечения. В ряде случаев она определяет выбор схемы пересечения.
- 3) определяются элементы пересечения из условия проезда с заданной расчетной скоростью и взаимно увязывают их план и профиль с целью ограничения продольных уклонов максимальным допустимым значением 40‰ и размещения путепроводов.

Тип петли	Обход центра слева	Обход центра справа	Тип петли	Обход центра слева	Обход центра справа
пп			лл		
пп			лл		
к	—	—	к	—	

Рис. 16.18. Классификация левоворотных съездов пересечений в разных уровнях

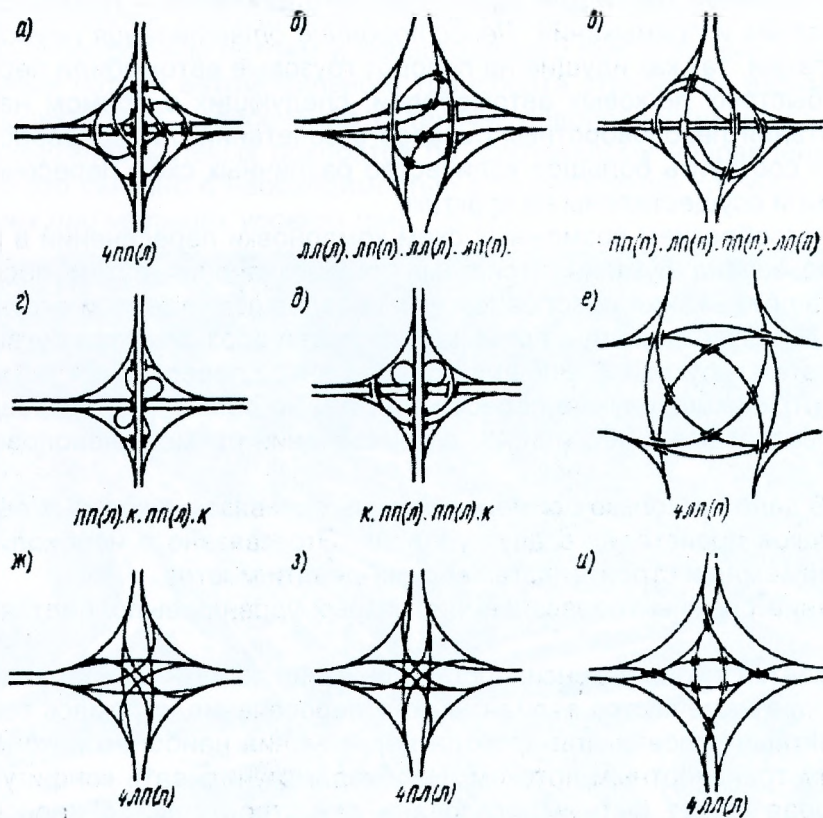


Рис. 16.19. Примеры сложных пересечений. Схема пересечения так называемого турбинного типа (а) имеет девять путей. Схема пересечения (б) частично использует идею распределительного кольца. Неудачно ответвление всех съездов от левой полосы проезжей части. Этот недостаток частично устранен на схеме (в). Схемы (г, д) включают левоворотные петли на двух малозагруженных направлениях. Схема (е) представляет наибольшие удобства левоворотным потокам движения. Радиусы левоворотных и правоворотных съездов равны между собой. Схемы ж, з, и – примеры схем пересечений с внутренним обходом центра съездами

Схемы пересечений должны быть логичными с точки зрения направления движения транспортных потоков. Наименее интенсивная часть разделяющихся потоков должна отклоняться вправо, транзитная – продолжать путь без изменения. Изменение направления движения должно быть плавным, места изменения должны быть видны издали.

Необходимо, чтобы расположение съездов было простым и понятным для водителей. Наиболее рациональны пересечения, у которых ответвления совмещаются вместе. Такое решение облегчает ориентировку водителей на пересечении, так как куда бы они ни поворачивали, поворот начинается в одном месте (рис. 16.20). Это упрощает перестроение автомобилей и расстановку указательных знаков.

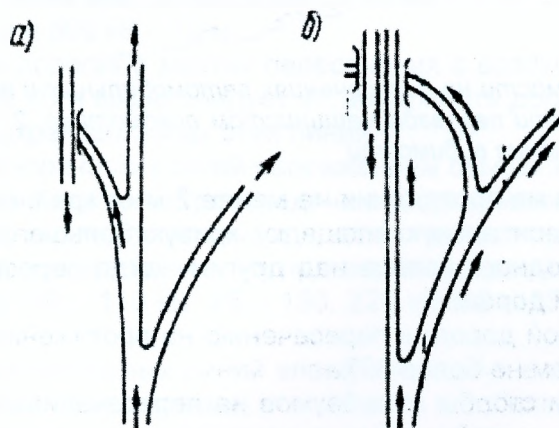


Рис. 16.20. Расположение съездов: а – рекомендуемое; б – нерекондуемое

Желательно, чтобы на одной дороге большой протяженности соблюдалось единообразие типов пересечений и, во всяком случае, одинаковая последовательность выполнения маневров поворота.

16.6. Пересечения автомобильных дорог с железными дорогами и коммуникациями

Пересечения автомобильных дорог с железными дорогами надлежит проектировать, как правило, вне пределов станций и путей маневрового движения преимущественно на прямых участках пересекающихся дорог. Острый угол между пересекающимися дорогами в одном уровне не должен быть менее 60° .

Пересечения автомобильных дорог I-III категорий с железными дорогами следует проектировать в разных уровнях. Пересечения автомобильных дорог IV и V категорий с железными дорогами следует проектировать в разных уровнях из условия обеспечения безопасности движения при:

- пересечении трех и более главных железнодорожных путей;
- расположении пересечения на участках железных дорог со скоростным (свыше 120 км/ч) движением или при интенсивности движения более 100 поездов в сутки;
- проложении пересекаемых железных дорог в выемках;
- необеспеченных нормах видимости;
- движении на автомобильных дорогах троллейбусов или устройстве на них совмещенных трамвайных путей.

На неохраняемых пересечениях автомобильных дорог с железными дорогами в одном уровне должна быть обеспечена видимость, при которой водитель автомобиля, находящегося от переезда на расстоянии не менее расстояния видимости для остановки, мог видеть приближающийся к переезду поезд не менее чем за 400 м, а машинист приближающегося поезда мог видеть середину переезда на расстоянии не менее 1000 м (рис. 16.21).

Ширину проезжей части автомобильных дорог на пересечениях в одном уровне с железными дорогами следует принимать равной ширине проезжей части дороги на подходах к пересечениям, а на автомобильных дорогах V категории – не менее 6,0 м на расстоянии 200 м в обе стороны от переезда.

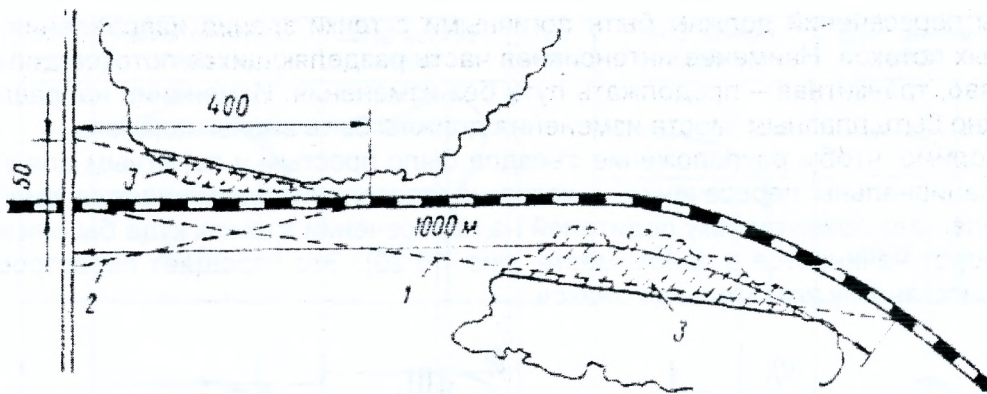


Рис. 16.21. Требования к видимости на пересечениях автомобильных и железных дорог: 1 – линия, ограничивающая зону видимости переезда машинистом локомотива; 2 – то же водителей автомобиля; 3 – срезка для обеспечения видимости

Автомобильная дорога на протяжении не менее 2 м от крайнего рельса должна иметь в продольном профиле горизонтальную площадку, кривую большого радиуса или уклон, обусловленный превышением одного рельса над другим, когда пересечение располагается в месте закругления железной дороги.

Подходы автомобильной дороги к пересечению на протяжении 50 м следует проектировать с продольным уклоном не более 30%.

Ограждающие тумбы и столбы шлагбаумов на пересечениях следует располагать на расстоянии не менее 0,75 м, а стойки габаритных ворот – на расстоянии не менее 1,75 м от кромки проезжей части.

При проектировании путепроводов над железнодорожными путями, наряду с требованиями по обеспечению габаритов приближения строений к железнодорожным путям, следует обеспечить видимость пути и сигналов, требуемую по условиям безопасности движения поездов и предусмотреть водоотвод с учетом устойчивости земляного полотна железных дорог.

На переездах через железную дорогу безусловное предпочтение отдается движению поездов. Поэтому технико-экономическое обоснование целесообразности устройства пересечения с железной дорогой в разных уровнях сводится к учету потерь от простоев автомобилей во время закрытия переезда и от снижения скорости транспортного потока на участках переезда.

Пересечения автомобильных дорог с трубопроводами (водопровод, канализация, газопровод, нефтепровод, теплофикационные трубопроводы и т.п.), а также с кабелями линий связи и электропередачи следует предусматривать с соблюдением требований соответствующих нормативных документов на проектирование этих коммуникаций.

Пересечения различных подземных коммуникаций с автомобильными дорогами следует проектировать, как правило, под прямым углом. Прокладка этих коммуникаций (кроме мест пересечений) под насыпями дорог не допускается.

Вертикальное расстояние от проводов воздушных телефонных и телеграфных линий до проезжей части в местах пересечений автомобильных дорог должно быть не менее 5,5 м (в теплое время года). Возвышение проводов при пересечении с линиями электропередачи должно быть, м, не менее: 6,0 – при напряжении до 1 кВ; 7,0 – до 110 кВ; 7,5 – до 150 кВ; 8,0 – до 220 кВ; 8,5 – до 330 кВ; 9,0 – до 500 кВ; 16,0 – до 750 кВ. Расстояние определяется при высшей температуре воздуха без учета нагрева проводов электрическим током или при гололеде без ветра.

Расстояние от бровки земляного полотна до основания опор воздушных телефонных и телеграфных линий, а также высоковольтных линий электропередачи при пересечении дорог следует принимать не менее высоты опор.

Наименьшее расстояние от бровки земляного полотна до опор высоковольтных линий электропередачи, расположенных параллельно автомобильным дорогам, следует принимать равным высоте опор плюс 5 м.

Опоры воздушных линий электропередачи, а также телефонных и телеграфных линий допускается располагать на меньшем удалении от дорог при их расположении в стесненных

условиях, на застроенных территориях, в ущельях и т.п., при этом *расстояние по горизонтали для высоковольтных линий электропередачи должно составлять:*

1) при пересечении от любой части опоры до подошвы насыпи дороги или до наружной бровки боковой канавы:

- для дорог I и II категорий при напряжении до 220 кВ – 5 м и при напряжении 330-500 кВ – 10 м;
- для дорог остальных категорий при напряжении до 20 кВ – 1,5 м, от 35 до 220 кВ – 2,5 м и при 330-500 кВ – 5 м;

2) при параллельном следовании от крайнего провода при неотклоненном положении до бровки земляного полотна при напряжении до 20 кВ – 2 м; 35-110 кВ – 4 м, 150 кВ – 5 м, 220 кВ – 6 м, 330 кВ – 8 м и 500 кВ – 10 м.

На автомобильных дорогах в местах пересечения с *воздушными линиями электропередачи* напряжением 330 кВ и выше следует устанавливать дорожные знаки, запрещающие остановку транспорта в охранных зонах этих линий.

Охранные зоны электрических сетей напряжением свыше 1,0 кВ устанавливаются:

а) вдоль воздушных линий электропередачи в виде земляного участка или воздушного пространства, ограниченных вертикальными плоскостями, отстоящими по обеим сторонам от крайних проводов при неотклоненном их положении на расстоянии, м: 10 – при напряжении до 20 кВ; 15 – 35 кВ; 20 – 110 кВ; 25 – 150, 220 кВ; 30 – 330, 500 кВ; 40 – 750 кВ; 55 – 1150 кВ;

б) вдоль подземных кабельных линий электропередачи в виде земельного участка, ограниченного вертикальными плоскостями, отстоящими по обеим сторонам линии от крайних кабелей на расстоянии 1 м.

В охранных зонах строительство и реконструкция производится на основе письменного согласия предприятий (организаций), в ведении которых находятся эти сети.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабков В.Ф. и др. Проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1970. – 402с.
- Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. – М.: Транспорт, 1987. – 386 с.
- Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.2. – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
- Гохман В.А., Ромаданов Г.А. Общий курс автомобильных дорог. – М.: Высшая школа, 1976. – 207с.
- П2-01 к СНиП 2.05.02-85. Проектирование земляного полотна автомобильных дорог. Мн.: КАД. – 2001. – 107 с.
- П3.03.01-96 к СНиП 2.05.02-85. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. Мн.: КАД. – 1997. – 86 с.
- П1-98 к СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.
- Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера – дорожника / Под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
- СНБ 3.03.02-97. Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов / Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Мн.: 1998. – 32 с.
- СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, – 1985. – 36 с.
- СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – М.: ЦИТП, – 1986. – 51 с.
- СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – М.: ЦИТП, – 1985. – 200 с.

Учебное издание

*Лукша Владимир Валентинович
Шведовский Петр Владимирович*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ,
МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

(курс лекций)

Часть 1

ISBN 985-6584-96-5



Ответственный за выпуск: ***В.В. Лукша***

Редактор: ***Т.В. Строкач***

Художник: ***В.В. Лукша***

Компьютерный набор и верстка: ***В.В. Лукша***

Корректор: ***Е.В. Никитчик***

Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г. Сдано в набор 15.10.2004.
Подписано к печати 15.11.2004. Бумага «Снегурочка». Формат 60x84¹/₈.
Гарнитура Arial. Усл.п.л. 30,46 Уч.изд.л. 32,75. Тираж 150 экз. Заказ № 1118

Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г.